



TUGAS AKHIR - SF 091321

**KARAKTERISASI SIFAT KEMAGNETAN DAN
KELISTRIKAN PADA KOMPOSIT *CORE-SHELL*
BARIUM M-HEKSAFERIT DOPING ION Zn
($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)/POLIANILIN**

NOVITA RATNASARI SISWIYANTO
NRP 1109 100 014

Dosen Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si

JURUSAN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2013



FINAL PROJECT - SF 091321

**MAGNETIC AND ELECTRICAL PROPERTIES
CHARACTERIZATION OF CORE-SHELL
COMPOSITE BARIUM M-HEXAFERRITE DOPED
BY Zn ION ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)/POLYANILINE**

NOVITA RATNASARI SISWIYANTO
NRP 1109 100 014

Advisor
Dr. M. Zainuri, M.Si

Physics Departement
Faculty Matematics and Natural Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2013

**KARAKTERISASI SIFAT KEMAGNETAN DAN
KELISTRIKAN PADA KOMPOSIT CORE-SHELL
BARIUM M-HEKSAFERIT DOPING ION Zn
($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)/POLIANILN**

Nama	: Novita Ratnasari Siswiyanto
NRP	: 1109 100 014
Jurusan	: Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing	: Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi doping ion Zn 0,3; 0,5; 0,7 pada serbuk Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) dengan metode kopresipitasi sederhana yang dilakukan untuk menyintesis serbuk Barium M-Heksaferite $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dan dikalsinasi pada suhu 1000°C selama 4 jam. Dan metode in-situ polimerization untuk sintesis komposit core-shell PANi/BaM. Serbuk PANi/Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ dikarakterisasi dengan VSM dan two point probe. Pemberian doping ion Zn yang semakin banyak mempengaruhi sifat kemagnetan menjadi semakin soft magnetic seperti pada $\text{BaFe}_{11,3}\text{Zn}_{0,7}\text{O}_{19}$ yaitu dengan nilai remanensi magnetik sebesar 10,79 emu/gr dan medan koersivitas sebesar $34,57 \times 10^{-2}$ T. Konduktivitas dari komposit dengan variasi ion doping pada filler yaitu $0,39 \times 10^{-3}$ - $4,8 \times 10^{-3}$ S/cm. Dari hasil pengamatan TEM didapatkan bahwa komposit mempunyai struktur core-shell, dengan BaM sebagai core yang dilapisi oleh PANi dengan diameter rata-rata komposit ~190 nm dengan diameter filler ~101(6) nm.

Kata kunci: PANi/BaM, Zn, kopresipitasi, in-situ polimerization, kemagnetan, konduktivitas

**MAGNETIC AND ELECTRICAL PROPERTIES
CHARACTERIZATION OF CORE-SHELL COMPOSITE
BARIUM M-HEXAFERRITE DOPED BY Zn ION
(BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉)/POLYANILINE**

Student Name : Novita Ratnasari Siswiyanto
Student Identity : 1109 100 014
Departement : Fisika, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstract

Research has been done on the effect of variations in ion doping Zn 0,3; 0,5; 0,7 on Barium M-Hexaferrite (BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉) powder with a simple coprecipitation method undertaken to synthesize Barium M-Hexaferrite (BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉) and calcined at temperature of 1000°C for 4 hours. And in-situ polymerization method for the synthesis of core-shell composite PANi/BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉. PANi/BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉ characterized by VSM and two point probe method. Giving doping Zn ions are influence for the magnetic properties become more soft magnetic like the BaFe_{11,3}Zn_{0,7}O₁₉ ie with magnetic remanence value of 10.79 emu/g and coercivity field of 34,57×10² T. Conductivity of composites with various filler ion doping on the 0,39×10⁻³ – 4,8×10⁻³ S/cm. From the results of TEM observation showed that the composites have a core-shell structure, with BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉ as a core coated by PANi with an average diameter of ~190 nm composite with filler diameter ~101(6) nm.

Keywords: PANi/BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉, Zn, coprecipitation, in-situ polymerization, magnetization, conductivity

**KARAKTERISASI SIFAT KEMAGNETAN DAN
KELISTRIKAN PADA KOMPOSIT *CORE-SHELL*
BARIUM M-HEKSAFERIT DOPING ION Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)/POLIANILIN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NOVITA RATNASARI SISWIYANTO

Nrp. 1109 100 014

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. M. Zainuri, M.Si



SURABAYA, 28 JUNI 2013

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji penulis panjatkan kehadirat Allah SWT serta junjungan Rasulullah Muhammad SAW, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan dan penelitian laporan Tugas Akhir dengan baik dan tepat waktu dengan judul:

Karakterisasi Sifat Kemagnetan dan kelistrikan pada Komposit *Core-Shell* Barium M-Hexaferrit Doping Ion Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)/Polianilin

Tak lupa penulis sampaikan rasa hormat, penghargaan dan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam mengerjakan tugas akhir sehingga dapat terselesaikan dengan baik, khususnya kepada :

1. Bapak Dr. M. Zainuri, M.Si selaku dosen pembimbing, sahabat dan “ayah di kampus” atas segala bimbingan, nasehat, motivasi dan kesabarannya dalam membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Mama Siti Khadijah Nasution dan Ayah Hery Siswiyanto, yang telah memberikan kasih sayang, semangat lahir dan batin, didikan, ajaran, nasehat, kasih sayang, dan do'a restunya.
3. Ua' Mansyur Nasution dan Ua' Siti Nurbaya Lubis, yang telah memberikan nasehat dan do'anya.
4. Abang-adikku, M. Agung W. dan M. Yusuf R. serta Kak Nisa Sabila, untuk selalu memberikan semangat dan perhatian selama pengerjaan tugas akhir ini. Semangatsaknomer!
5. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng. Dan Ibu Dr. Melania Suweni M., M.T., selaku Ketua Jurusan dan Wakil Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS.

6. Bapak Lyla Yuwana, M.Si, selaku dosen wali yang selalu memberikan saran, motivasi dan nasehat.
7. Bapak M. Arif Bustomi, M.Si dan Bapak Lyla Yuwana, M.Si, selaku penguji.
8. Seluruh Staf Pengajar di Jurusan Fisika ITS.
9. Segenap karyawan TU dan karyawan Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika ITS.
10. Segenap Tim: Mas Irwan, Mbak Aghesty, Tri, mbak Linda, Nia dan Fifi yang telah menemani, memberi semangat dan bersama-sama berjuang hingga tugas akhir ini selesai.
11. Sahabat-sahabat tersayang Hening Destia R., Yola Kartika, dan Talent Nia P., yang telah memberi semangat.
12. Teman-teman Netizen, SUKOCO khususnya untuk doa, kebersamaan dan inspirasi yang diberikan.
13. Teman-teman Momentum 2009, atas kebersamaan hingga saat ini.
14. Dan untuk semua yang belum dapat disebutkan satu-persatu, yang telah memberi perhatian, semangat, do'a dan inspirasi.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar dapat lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca agar dapat dikembangkan lebih lanjut.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, 28 Juni 2013

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Lampiran	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$).....	7
2.2 Sifat Magnetik Barium M-Heksaferit.....	9
2.3 Pengaruh Substitusi ion Zn^{2+}	11
2.4 Struktur molekul Polianilin (PANi)	12
2.5 Konduktivitas Polianilin.....	15
2.6 Komposit BaM/ PANi.....	17

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan	
3.1.1 Peralatan	21
3.1.2 Bahan.....	21
3.3 Prosedur Eksperimen.....	22
3.3 Karakterisasi Sampel	23
3.4 Skema Kerja	
3.4.1 Skema Sintesis $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	27
3.4.2 Skema Sintesis PANi/BaM	28

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	29
4.2 Analisa Thermal	30
4.3 Analisa Kandungan Unsur.....	32
4.4 Analisa Struktur Fase $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	33
4.5 Sintesis Komposit <i>Core-Shell</i> PANi/BaM	38
4.6 Analisa Pembentukan Komposit <i>Core-Shell</i> PANi/BaM.....	39
4.7 Analisa Sifat Kemagnetan $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	41
4.8 Analisa Sifat Kelistrikan Komposit PANi/BaM.....	44
4.9 Analisa Morfologi Komposit PANi/BaM Berstruktur <i>Core-Shell</i>	48

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN A	57
LAMPIRAN A2	61
LAMPIRAN B	65
LAMPIRAN B2	73
LAMPIRAN C	77
BIODATA PENULIS	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan kode database 1008841CIF, (http://www.crystallography.net)8
Gambar 2.2	Pola difraksi kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan kode database 1008841CIF (http://www.crystallography.net)9
Gambar 2.3	Kurva magnetisasi (a) Diamagnetik, (b) Paramagnetik, (Cullity, et. al. 2009) (c) Ferromagnetik (Griffiths, 1999).....10
Gambar 2.4	Kurva histerisis (a) BaM, $\text{BaFe}_{12-x}(\text{Mn}0.5\text{Cu}0.5\text{Ti})_x/2\text{O}_{19}$ (b) $x=1$, (c) $x=2$ dan (d) $x=3$ (Ghasemi et. al, 2006).12
Gambar 2.5	Struktur umum Polianilin13
Gambar 2.6	Struktur basa pernigranilin13
Gambar 2.7	Struktur basa emeraldin14
Gambar 2.8	Struktur basa leukomerardin14
Gambar 2.9	Struktur garam emeraldin14
Gambar 2.10	Konduktivitas dari berbagai macam Polimer konduktif (MacDiarmid, 2000)16
Gambar 2.11	Struktur PANi tanpa doping (Haba, et. al., 1999) 16
Gambar 2.12	Proses Doping polianilin dengan DBSA (Tsotra, et.al., 2004)17
Gambar 2.13	Komposit BaM/PANi yang disintesis dengan metode <i>insitu Polymerisazation</i> dan doping HCL (Jiang et. al, 2009)18
Gambar 2.14	Proses Polimerisasi dengan metode <i>insitu polymerization</i> (Khafagy, et. al, 2011)19
Gambar 3.1	Seperangkat Difraktometer di Lab. Difraksi <i>Research Center ITS</i>23
Gambar 3.2.	Seperangkat alat FTIR di Lab. IPA Terpadu UNESA24
Gambar 3.3	Seperangkat instrument TEM25

Gambar 3.4	Seperangkat alat uji Vibrating Sample Magnetometer (VSM) tipe OXFORD VSM1.2H (BATAN)	26
Gambar 3.5	Skema kerja sintesis $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$	27
Gambar 3.6	Skema kerja sintesis komposit PANi/BaM	28
Gambar 4.1	Grafik DTA/TGA prekursor BaM hasil pengendapan dari proses kopresipitasi	30
Gambar 4.2	Diagram DTA dari prekursor yang diendapkan: (a) Co_2Z , (b) BaM and (c) Co_2Y . (Hsiang and Yao, 2007).....	31
Gambar 4.3	Pola difraksi sinar-X pada BaM doping ion Zn, $x = 0,3$ ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$)	32
Gambar 4.4	Pola difraksi sinar-X pada BaM doping ion Zn, $x = 0,5$ ($\text{BaFe}_{11,5}\text{Zn}_{0,5}\text{O}_{19}$)	34
Gambar 4.5	Pola difraksi sinar-X pada BaM doping ion Zn, $x = 0,7$ ($\text{BaFe}_{11,3}\text{Zn}_{0,7}\text{O}_{19}$)	35
Gambar 4.6	Pola difraksi PANi, BaM dan komposit BaM/PANi	40
Gambar 4.7	Spektrum FTIR BaM dan Komposit BaM/PANi	41
Gambar 4.8	Perbandingan kurva histerisis BaM pada variasi konsentrasi doping Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)	42
Gambar 4.9	Perbandingan konduktivitas antara PANi/DBSA dengan komposit PANi/Barium M–Hexaferrit variasi doping ion Zn.....	45
Gambar 4.10	Hasil pengamatan komposit PANi/BaM dengan TEM	48
Gambar 4.11	Distribusi ukuran Kristal BaM berdasarkan analisis data difraksi.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Unsur-Unsur Utama Penyusun Serbuk Prekursor dengan Konsentrasi Doping Zn, $x = 0,5$	33
Tabel 4.2	Komposisi Fase Relatif Hasil Penghalusan (refinement) Rieveld untuk Variasi Konsentrasi Doping Ion Zn yang Berbeda dengan Perangkat Lunak <i>Rietica</i>	36
Tabel 4.3	Nilai Remanensi dan Medan Koersivitas BaM untuk Konsentrasi Ion Doping Zn 0,3; 0,5 dan 0,7.....	43
Tabel 4.4	Nilai Konduktivitas PANi/DBSA dan Komposit PANi/Barium M-Hexaferit dengan Variasi Doping Ion Zn.....	45

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Bagian pertahanan nirmiliter yang membidangi teknologi dan informasi merupakan bagian utama dalam menghadapi ancaman teknologi dan informasi. Peran unsur utama adalah mendinamisasikan kekuatan dan kemampuan teknologi nasional untuk mengimbangi tekanan pihak luar yang menggunakan faktor teknologi yang melemahkan daya tangkal bangsa. Pengelolaan teknologi dan informasi untuk mempercepat pengembangan sumber daya manusia yang menguasai dan memahami teknologi dan informasi juga merupakan peran yang dilaksanakan oleh unsur pertahanan nirmiliter.

Guna menghadapi ancaman teknologi dan informasi secara konkret, strategi pembangunan nasional di bidang teknologi dan informasi diselenggarakan untuk mewujudkan kemandirian industri nasional yang berdaya saing di dunia internasional sehingga mampu mengatasi ketergantungan teknologi dari negara-negara lain. Upaya kemandirian tersebut dikembangkan melalui penguasaan pasar domestik oleh produk-produk nasional serta mampu menerobos pasar regional dan supraregional dalam kerangka Indonesia menjadi pemain dalam era globalisasi ekonomi dan perdagangan (Buku Putih DepHan, 2008).

Salah satu teknologi yang dikembangkan dalam bidang pertahanan yaitu Radar (*Radio Detection and Ranging*). Radar dikembangkan selama perang Dunia II untuk mendeteksi pesawat asing yang memasuki wilayah suatu Negara dengan menggunakan gelombang elektromagnet (Seo, et.al, 2004). Deteksi Radar pada target didasarkan pada *Radar Cross Section* (RCS) (Saville, 2005). RCS merupakan daerah efektif pada target yang memantulkan kembali gelombang radar yang bergantung pada bentuk, ukuran, orientasi dari target (Knott, 2005).

Seiring perkembangan teknologi Radar juga berkembang teknologi siluman (*Stealth Tecnology*) yaitu dengan hadirnya

pesawat yang tidak terdeteksi Radar. Teknologi siluman ini dilakukan dengan mereduksi RCS. Reduksi RCS dapat dilakukan dengan memanipulasi bentuk (*shaping*) dari pesawat yaitu dengan geometri bersudut sehingga pantulan gelombang radar yang mengenai pesawat tersebut menjadi kacau dan tidak bisa ditangkap oleh *receiver* radar. Tetapi dalam aplikasinya *shaping* ini dibatasi oleh rancangan aerodinamis dari sebuah pesawat (Ramprecht, et. al, 2007). Desain dari material penyerap gelombang radar memerlukan rekayasa dari sifat-sifat materialnya seperti konduktivitas, permitivitas kompleks dan permeabilitas (Ting, et. al. 2010).

Gelombang elektromagnet merupakan penjalaran medan magnet dan medan listrik secara tegak lurus. Sumber elektrik dari gelombang elektromagnet dapat diserap oleh material konduktif, sedangkan sumber magnetiknya dapat diserap material magnetik (Jiang, et.al., 2009). Perpaduan material magnetik dan material konduktif dapat menjadi material penyerap gelombang Radar yang baik karena serapan magnetik dan elektriknya (Yang, et.al, 2010)

Polimer konduktif merupakan material dengan konduktivitas yang dapat dikontrol dengan mengatur tingkat konsentrasi doping (Wan, 2008). Salah satu polimer konduktif yang banyak mendapatkan perhatian peneliti dewasa ini yaitu Polianilin (PANi) karena mudah disintesis, monomer yang murah, dan memiliki kestabilan terhadap lingkungan yang lebih baik dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya (Bhadra, et. al., 2009). Polianilin sebagai material penyerap gelombang radar hanya mempunyai rugi elektrik (*electrical loss*) (Ting, et. al. 2010).

Sedangkan Barium M-Heksaferrite (BaM) telah banyak mendapat perhatian sebagai material penyerap gelombang elektromagnet karena rugi magnetiknya (*Magnetic losses*) yang berasal dari resonansi gerak domain magnetik dan relaksasi spin pada frekuensi tinggi medan elektromagnet (Ghasemi, et. al., 2006). BaM merupakan magnet permanen dengan anisotropi magnetik yang tinggi (Moelai, et. al., 2012), kestabilan kimia

yang baik, magnetik saturasi dan medan koersitas yang tinggi (*hard magnetic*) (Qiu et. al, 2006). Karena anisotropi kristalinnya BaM memiliki frekuensi resonansi yang sangat tinggi yaitu sekitar 50-60 Hz (Ghasemi, et. al., 2006). Anisotropi dari BaM dapat direduksi dengan substitusi Fe^{3+} dengan ion divalent (Zn, Co, Ni, dan lain-lain) (Meshram et al, 2004), sehingga dengan substitusi ini diharapkan BaM bisa diaplikasikan untuk penyerap gelombang elektromagnet pada daerah X-band.

Sintesis Komposit BaM/PANi telah dilakukan dengan menambahkan serbuk BaM ketika proses polimerisasi PANi, sehingga menghasilkan struktur Kristal BaM yang tidak tereduksi dan terbentuk komposit BaM/PANi dengan struktur *core-shell* (Irwan, 2012; Zainuri et. al, 2012).

Material Barium Ferrit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ pada penelitian ini akan disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi yang divariasikan dengan konsentrasi ion doping Zn^{2+} sehingga akan membentuk material magnetik. Selanjutnya dilakukan sintesis BaM/PANi dengan metode polimerisasi in-situ Polianilin/Barium M-Hexaferit dengan struktur *core-shell* yang diharapkan dapat menghasilkan material magnetik bernilai konduktivitas tinggi. Material yang diperoleh tersebut selanjutnya akan dianalisa mikrostuktur *core-shell*-nya dengan menggunakan *Transmission Electron Microscope (TEM)*, sifat kemagnetan dianalisa dengan menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*, sedangkan nilai konduktivitas listriknya dianalisa dengan menggunakan metode *two point probe*.

1.2.Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian ini adalah:

- 1.2.1. Bagaimana pengaruh doping Zn^{2+} terhadap sifat magnetik dan sifat listrik BaM/PANi yang terbentuk?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- 1.3.1. Mengetahui pengaruh doping Zn^{2+} terhadap sifat magnetik dan sifat listrik komposit *core-shell* BaM/PANi yang terbentuk.

1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada substitusi ion doping Zn^{2+} dengan nilai variabel masing-masing $x = 0.3; 0.5$ dan 0.7 pada komposit *core-shell* BaM/PANi yang kemudian dilakukan pengukuran kemagnetan dan konduktivitas.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan material komposit BaM/PANi dengan dengan sifat kemagnetan dan kelistrikan yang dapat dikontrol serta sesuai dengan bahan penyerap gelombang radar pada orde X-band sehingga nantinya dapat menunjang kelengkapan alat untuk sistem pertahanan (Alusista) NKRI dengan bahan baku yang diproduksi dalam negeri.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika tugas akhir ini terbagi dalam lima bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan hasil penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dari literatur yang berhubungan untuk menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini yang dapat berasal dari buku, jurnal maupun halaman web di internet.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji. Jadwal kegiatan berisi rincian setiap kegiatan penelitian yang dijabarkan dalam satuan minggu.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, serta pembahasan dari data yang diperoleh dijabarkan sesuai dengan permasalahan yang ditetapkan pada rumusan masalah untuk kemudian dibandingkan dengan teori yang ada pada tinjauan pustaka sehingga dapat diperoleh kesimpulan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang diperoleh berdasarkan data-data yang telah diolah sehingga dapat menjawab permasalahan dari penelitian ini. Disertai dengan hal-hal yang sebaiknya dilakukan pada penelitian serupa selanjutnya sehingga masalah-masalah yang dialami pada saat proses penelitian saat ini dapat diminimalisir untuk kedepannya demi hasil penelitian yang lebih baik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)

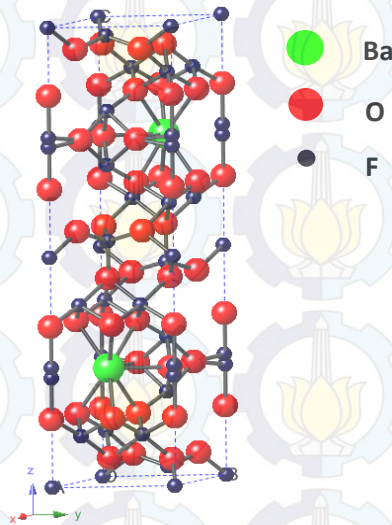
Heksagonal ferrit mempunyai beberapa tipe seperti M ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$), Y ($\text{BaMe}_2\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$), W ($\text{BaMe}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$), Z ($\text{Ba}_3\text{Me}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{14}$), dan U ($\text{Ba}_4\text{Me}_2\text{Fe}_{36}\text{O}_{60}$). M, Y, W, Z, dan U menyatakan tipe dari Barium Heksaferit yang ditentukan oleh jumlah kandungan ion besi dan oksigen dalam senyawa. Sedangkan Me menyatakan suatu variabel yang bisa diganti dengan ion Zn, Ti, Co, Ga, Al serta kation logam lainnya yang ukurannya hampir sama sesuai dengan sifat yang ingin dimunculkan. Heksagonal ferit memiliki resistivitas, anisotropik magnetokristalin, dan magnetisasi saturasi yang tinggi, serta tegangan hilang dielektrik yang rendah pada stabilitas termal (Hahn, 2006).

Heksagonal ferrit dengan struktur *magnetoplumbite* sejak lama telah menarik perhatian peneliti. Nilai anisotropi magnetokristalin dan magnetisasi saturasi yang tinggi menjamin aplikasi ini. Struktur kristal yang paling banyak diteliti adalah $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan grup ruang $P6_3/mmc$ (Rosler, 2003). Struktur kristal ini adalah heksagonal (gambar 2.1) dengan parameter kisi $a=b=5.892 \text{ \AA}$, $c=23.183 \text{ \AA}$, dan pola difraksi kristalnya dengan kode database 1008841 mengacu pada data *crystallographic information file* (CIF) $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ ditunjukkan pada gambar 2.2 (<http://www.crystallography.net>).

Ferrimagnetik oksida atau yang biasa disebut ferrit, adalah bahan keramik ferrimagnetik berwarna coklat tua atau abu-abu, sangat keras dan rapuh. Struktur kristal sangat kompleks, tapi hal itu dapat digambarkan sebagai heksagonal dengan sumbu c yang unik, yang merupakan sumbu yang mudah termagnetisasi dalam struktur dasar (Narang, 2006).

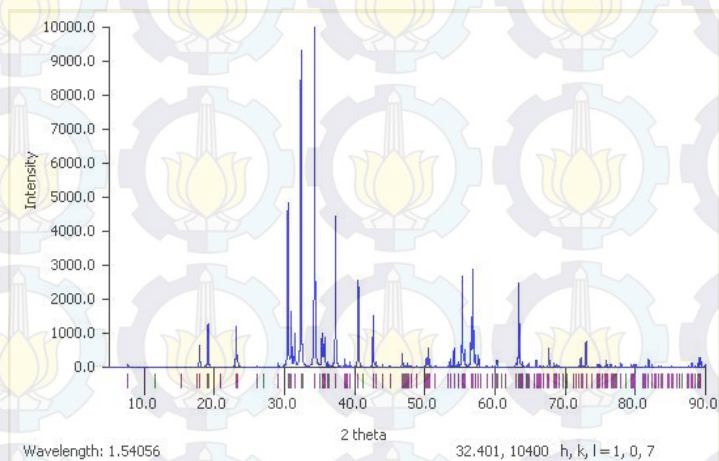
Dalam beberapa tahun terakhir, pembaharuan dari kepentingan hexagonal ferrit telah diinduksi dengan jenis aplikasi baru seperti magnet permanen, telekomunikasi, *magneto-optical*,

media penyimpan data dan *electromagnetic shielding fields*. Sayangnya, medan koersivitas (H_c) terlalu tinggi untuk beberapa aplikasi baru. Untuk mengatasi masalah ini, ion besi dalam fasa-M bisa disubstitusi dengan kation logam lain yang ukurannya hampir sama (misalnya Al^{3+} , Ga^{3+} , Co^{2+} , Ti^{4+} , Zn^{2+}). Sebagian besar, substitusi berlangsung secara serentak di *spin-down* dan *spin-up sublattices* mengakibatkan penurunan medan koersivitas dan magnetisasi saturasi (Rosler, 2003).



Gambar 2.1 Struktur kristal $BaFe_{12}O_{19}$ dengan kode database 1008841CIF (<http://www.crystallography.net>)

Sedangkan pola difraksi kristal Barium M-Heksaferit ($BaFe_{12}O_{19}$) ditunjukkan pada gambar 2.2 dengan kode database 1008841CIF seperti di bawah ini.



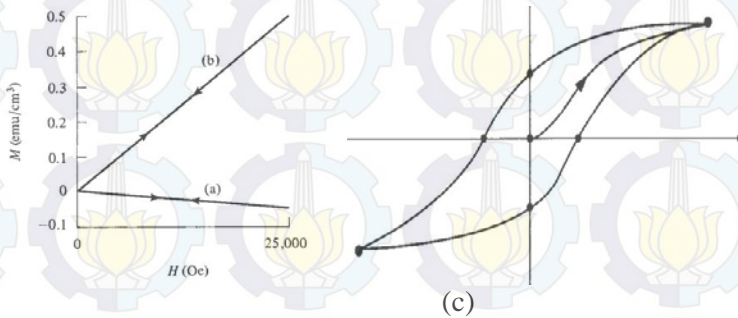
Gambar 2.2 Pola difraksi kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan kode database 1008841CIF (<http://www.crystallography.net>)

2.2 Sifat Magnetik Barium M-Heksaferit

Berdasarkan sifat magnetiknya material dibagi atas tiga macam yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik. Pengukuran sifat magnetik dari sebuah material dilakukan dengan memberikan medan magnet eksternal (H) dan mengukur magnetisasi dalam material tersebut (M). Kurva hubungan antara H - M disebut kurva magnetisasi (Cullity, et. al, 2009).

Untuk Diamagnetik magnetisasi berlawanan arah dengan medan magnet luar, Paramagnetik M linear dengan H (Cullity, et. al., 2009), tetapi untuk bahan ferromagnetik terdapat daerah magnetik saturasi (M_s) dan daerah magnetisasi yang tidak berubah dengan kenaikan H , magnetisasi tetap ada walaupun medan magnet luar telah ditiadakan (Magnetisasi remanensi, M_r) dan dibutuhkan medan magnet balik untuk membuat magnetisasi kembali nol (medan koersivitas, H_c) (Griffiths, 1999). Kurva magnetisasi pada bahan ferromagnetik biasa dikenal dengan kurva histeresis. Material ferromagnetik yang mempunyai nilai H_c yang tinggi disebut *hard magnetic* (perbandingan $M_r : M_s \sim 0.5$)

sedangkan material yang mempunyai nilai H_c yang rendah disebut *soft magnetic*.



Gambar 2.3 Kurva magnetisasi (a) Diamagnetik, (b) Paramagnetik, (Cullity, et. al. 2009) (c) Ferromagnetik (Griffiths, 1999)

Ba²⁺ dan O²⁻ mempunyai ukuran yang hampir sama, *nonmagnetic*, dan menempati *close-packet*. Ion terkecil Fe³⁺ menempati posisi intertisi. Fe³⁺ merupakan ion magnetik dengan moment magnetik $5\mu_B$ dan terletak pada tiga posisi yang berbeda dalam struktur Kristal BaM (tetrahedral, oktahedral, dan heksahedral). Dari 24 ion Fe³⁺ per satu sel Kristal, 4 pada posisi tetrahedral, 18 pada posisi oktahedral, dan dua pada posisi heksahedral dengan momen magnetik normal terhadap layer oksigen dan parallel atau anti parallel dengan sumbu +c. Kontribusi momen magnetik setiap posisi dalam satu molekul BaM $1\uparrow$ trigonal bipiramidal, $7\uparrow 2\downarrow$ oktahedral, dan $2\downarrow$ tetragonal, sehingga momen magnet total dalam BaM adalah $4\uparrow$ ($20\mu_B$) atau $8\uparrow$ ($40\mu_B$) per unit sel kristal (Cullity, et.al., 2009).

BaM termasuk material *hard magnetic* yang disebabkan oleh sifat anisotropik pada struktur kristalnya dimana H_c lebih besar jika medan magnet searah dengan sumbu c, dan lebih kecil apabila tegak lurus dengan sumbu c. Sumbu c merupakan sumbu

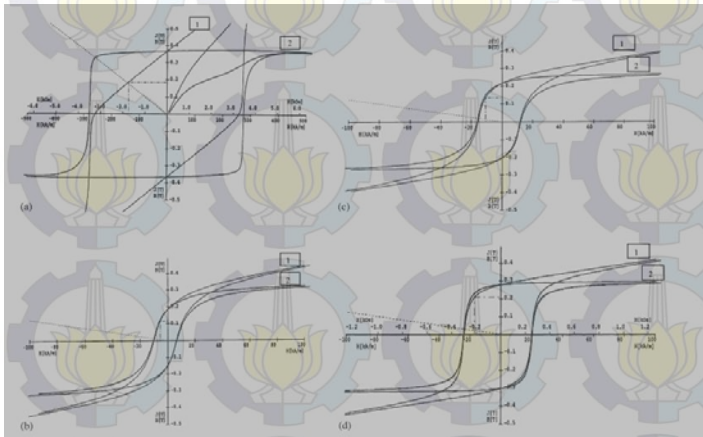
yang mudah dimagnetisasi dan konstanta anisotropi $K=3.3 \times 10^6$ ergs/cm³ atau 330 kJ/m³. Nilai M_s 380 emu/cm³ atau 380 kA/m³ (Cullity, et. al., 2009; Pullar, 2012).

2.3 Pengaruh Substitusi Ion Zn^{2+}

BaM termasuk material *hard magnetic* yaitu material dengan medan koersivitas yang besar. Kurva histerisis dari hard magnetic berbentuk persegi (*square look*). Material dengan medan koersivitas rendah dimana dibutuhkan medan magnet yang kecil untuk menjadikan magnetisasi nol disebut *soft magnetic*. Sifat *hard magnetic* dari BaM ini disebabkan oleh konstanta anisotropi dari BaM yang tinggi 3.3×10^6 erg/cm³ (Pullar, 2012). Anisotropi dari kristalin BaM ini sangat berpengaruh terhadap frekuensi resonansinya. Dimana frekuensi resonansi dari BaM yaitu sekitar 50-60 GHz (Ghasemi, et. al, 2008).

Anisotropi dan Magnetisasi saturasi dari BaM dapat ditingkatkan dengan substitusi ion non-magnetik seperti ion Zn^{2+} . Hal ini disebabkan ion Zn^{2+} lebih cenderung menempati posisi tetrahedral dan dalam struktur BaM tetrahedral mempunyai spin yang berlawanan dengan posisi octahedral. Substitusi Zn^{2+} mempunyai nilai saturasi yang tinggi $M_s=65$ Am²/kg dan nilai remanensi yang berkurang secara tajam dengan medan koersivitas 199 kA/m yang menunjukkan bahwa material tersebut mudah dimagnetisasi dan sesuai untuk beberapa aplikasi tertentu (Pullar, 2012 ; Ghasemi, 2006).

Dari gambar 2.4 yang merupakan kurva histerisis dari BaM dan doping BaM dengan Mn^{2+} , Cu^{2+} dan Ti^{4+} di bawah ini, dapat diketahui bahwa medan koersivitas terbesar terdapat pada BaM tanpa doping yaitu sekitar 258.7 A/m, hal ini disebabkan karena anisotropi dari BaM yang sangat tinggi. Medan koersivitas ini berkurang secara drastis pada konsentrasi doping $x=1$ yaitu 10 A/m. Hasil ini disebabkan dari reduksi anisotropi dari kristalin BaM. Substitusi $x=3$ menghasilkan medan koersivitas 23,8 A/m yang berasal dari peningkatan anisotropinya. (Ghasemi, et.al. 2006).



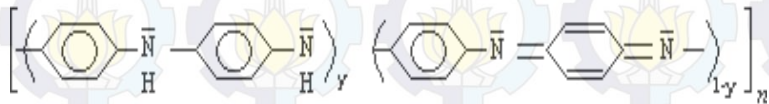
Gambar 2.4 Kurva histeresis (a) BaM , $BaFe_{12-x}(Mn_{0.5}Cu_{0.5}Ti)_x/2O_{19}$ (b) $x=1$, (c) $x=2$ dan (d) $x=3$ (Ghasemi et. al, 2006).

2.4 Struktur molekul Polianilin (PANI)

Polianilin merupakan salah satu jenis bahan polimer konduktif. Polimer konduktif merupakan polimer yang dapat menghantarkan arus listrik. Polianilin sebenarnya telah ditemukan 150 tahun yang lalu dalam bentuk monomer anilin melalui metode destilasi secara kimia dan dinamakan *crystallin* karena bentuknya yang menyerupai garam kristalin dengan asam sulfur dan fosfor. Pada tahun 1840, Fritzsche juga menemukan minyak bening yang kemudian disebut anilin. Beberapa orang meyakini bahwa hal ini merupakan laporan pertama dari polianilin, sekalipun laporan resminya baru muncul pada tahun 1862.

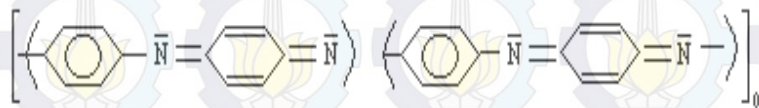
Polianilin sendiri merupakan bahan polimer yang terbentuk dari pengulangan unit kimia monomer-monomer anilin ($C_6H_5NH_2$). Dalam polianilin, penggabungan dari monomer-monomer anilin tersebut membentuk cincin-cincin benzoid dan quinoid yang dihubungkan satu dengan yang lainnya oleh atom-atom nitrogen melalui ikatan amin dan imin.

Polianilin biasa dikenal dalam bentuk basanya yang bersifat isolator. Struktur umum dari polianilin ditunjukkan pada gambar 2.5.



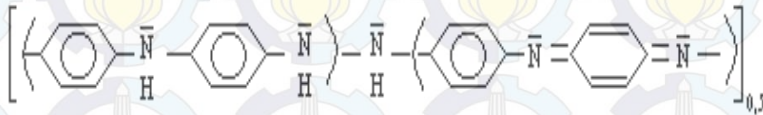
Gambar 2.5 Struktur umum Polianilin

Pada struktur kimia polianilin, indeks y menyatakan tingkat oksidasi dari basa polianilin yang nilainya berkisar antara nol sampai satu ($0 \leq y \leq 1$). Polimer yang teroksidasi berarti polimer tersebut telah kehilangan atom H yang berikatan kovalen dengan atom N disebelah cincin benzoid. Penarikan atom H (reduksi) pada dua atom N berdekatan yang diciptakan oleh cincin quinoid tersebut akan mengubah cincin quinoid menjadi cincin benzoid. Proses ini juga mengubah atom N dari bentuk amin (terhibridasi sp^3) menjadi bentuk imin (terhibridasi sp^2).



Gambar 2.6 Struktur basa pernigranilin

Dari penelitian yang dilakukan terhadap polianilin yang dibuat secara kimiawi diketahui bahwa y mempunyai tiga nilai yang berbeda dengan tiga struktur polianilin yang berbeda pula. Nilai $y=0$ menyatakan tingkat teroksidasi penuh yang menghasilkan polianilin dalam bentuk basa pernigranilin seperti yang ditunjukkan gambar 2.6. Nilai $y=0,5$ menyatakan tingkat setengah teroksidasi menghasilkan polianilin berbentuk basa emeraldin (EB). Basa ini tersusun atas gugus reduksi dan gugus teroksidasi dalam jumlah yang sama. Struktur basa emeraldin ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Struktur basa emeraldin

Nilai $y=1$ menunjukkan tingkat tereduksi penuh yang menghasilkan polianilin berbentuk basa leukomeraldin (LEB). Basa ini hanya mengandung cincin benzoid dengan struktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Struktur basa leukomeraldin

Ketiga bentuk dari basa polianilin diatas merupakan isolator. Polianilin bentuk basa emeraldin (EB) dapat dibuat konduktif dengan memberikan perlakuan asam (proses protonasi) yang menghasilkan garam emeraldin (ES). Proses ini menghasilkan cacat rantai dalam bentuk pasangan dikation dan pengikatan dopan A^- misal : Cl^- , HSO_4^- , ClO_4^- , dan lain – lain seperti ditunjukkan gambar 2.9.



Gambar 2.9 Struktur garam emeraldin

Pada mekanisme doping polianilin ini terjadi proses penarikan dan pelepasan proton. Pada proses ini jumlah proton yang terdapat dalam larutan asam yang digunakan mempengaruhi nilai konduktivitasnya. Hal ini memberikan nilai yang berbeda untuk masing-masing jenis asam dan pH asam yang digunakan untuk proses pendopingan. Proses protonasi berlangsung ketika

larutan asam terionisasi menjadi ion H^+ dan A^- . Dengan adanya pasangan elektron yang tak berikatan ($2s^2$) dari atom N pada gugus teroksidasi, maka ion H^+ akan cenderung bergabung dengan atom N tersebut. Hal ini mengakibatkan atom N hanya memiliki satu elektron yang dinamakan kation radikal yang memiliki muatan positif, sehingga dopan A^- yang berasal dari larutan asam akan ditarik untuk berpasangan dengan kation radikal tersebut melalui ikatan coulomb untuk mempertahankan kenetralan elektronik dalam rantai polimer tersebut.

Dalam zat padat, hal ini disebut bipolaron. Masuknya dopan melalui proses protonasi merupakan suatu keunikan yang tidak dimiliki oleh polimer konduktif lain. Dalam proses ini jumlah elektron dalam rantai tidak berubah, sedangkan pada proses doping lainnya disertai perubahan jumlah elektron pada rantai polimer (Wan, 2008).

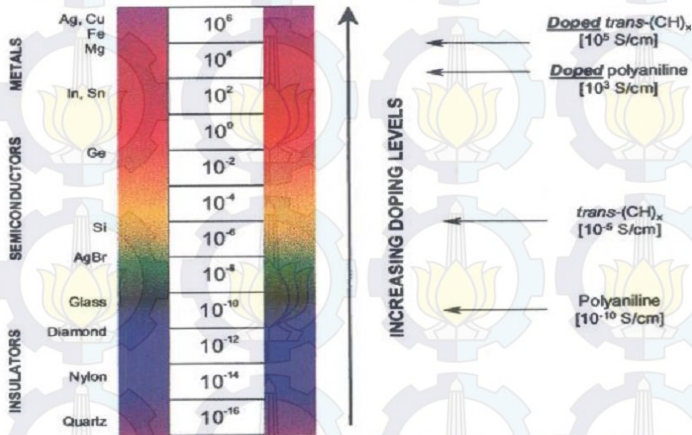
2.5 Konduktivitas Polianilin

Konduktivitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Konduktivitas merupakan sifat suatu bahan yang tidak tergantung pada temperatur. Konduktivitas listrik merupakan sifat penting suatu bahan, namun tidak semua bahan memiliki konduktivitas listrik. Besarnya konduktivitas bahan konduktor bervariasi kurang lebih antara $1/10^{-8}$ sampai $10^{-6} \Omega/m$, semikonduktor antara $1/10^{-7}$ sampai $1/10^{-6} \Omega/m$ sedangkan isolator $1/10^{-6} \Omega/m$ ke atas (wan, 2008).

Polimer sebagai salah satu material yang banyak digunakan, juga mempunyai sifat yang bervariasi dari isolator hingga konduktor tergantung komposisi atom dan jenis ikatannya. Polimer dengan rangka yang mengandung ikatan π terkonjugasi memiliki sifat listrik yang unik karena kemampuannya untuk mentransfer muatan disepanjang rantai. Salah satu contoh polimer terkonjugasi adalah polianilin. Polianilin memiliki beberapa bentuk. Salah satunya dan merupakan bentuk yang paling stabil adalah emeraldin. Menurut Stejskal, et. al., (2001), emeraldin memiliki konduktivitas $10^{-7} S/cm$. Tingkat konduktivitas listrik

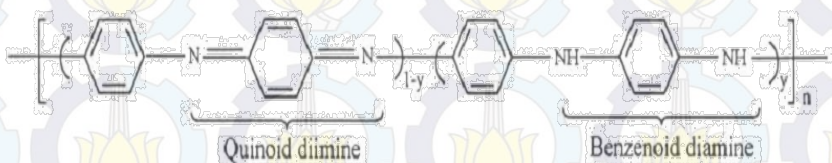
emeraldin dapat ditingkatkan dengan melakukan penambahan dopan.

Konduktivitas dari polimer konduktif mempunyai rentang dari insulator sampai konduktor. Konduktivitas dari polimer konduktif meningkat seiring peningkatan konsentrasi doping. (MacDiarmid, 2001).



Gambar 2.10 Konduktivitas dari berbagai macam Polimer konduktif (MacDiarmid, 2000)

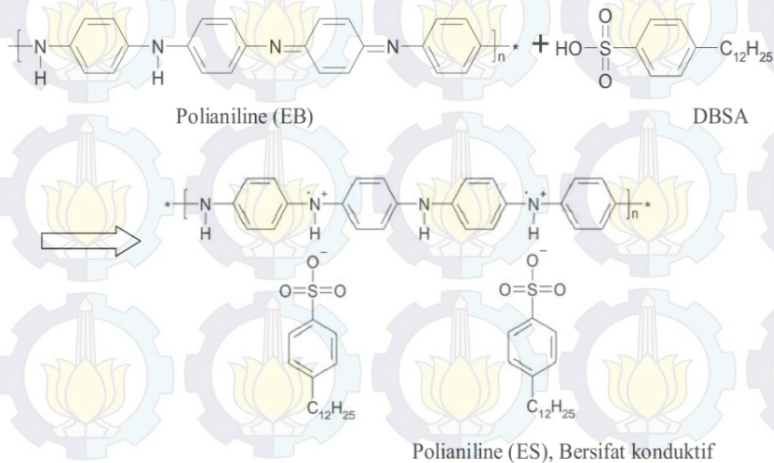
Berikut ini adalah struktur molekul polianilin tanpa doping dimana ketiga bentuknya EB, LEB dan PNB bersifat osilator.



Gambar 2.11 Struktur PANi tanpa doping (Haba, et. al., 1999)

PANi-EB dapat menjadi konduktif melalui reaksi non-redoks yaitu protonasi melalui doping dengan asam kuat seperti

dodecylbenzenesulphonic acid (DBSA) untuk menghasilkan *Emeraldine Salt* (Tsotra, et.al., 2004). DBSA selain berperan sebagai doping juga berperan sebagai surfaktan (Han, et.al., 2009).



Gambar 2.12 Proses Doping polianilin dengan DBSA (Tsotra, et.al., 2004)

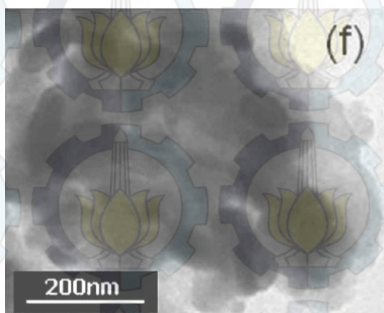
Mekanisme konduktivitas pada PANi disebabkan oleh kehadiran polaron pada saat proses doping. Polaron ini timbul akibat protonasi dari Imine nitrogen. Protonansi ini sangat dipengaruhi oleh keadaan oksidasi dari polianilin dan pH selama proses polimerisasi. Protonasi sempurna didapatkan pada keadaan teroksidasi setengah (*emeraldine base*). Proses doping ini dapat meningkatkan konduktivitas PANi sampai orde 10^{10} (MacDiarmid, 2001).

2.6 Komposit BaM/ PANi

Komposit BaM/PANi merupakan salah satu kandidat yang cukup baik untuk pelapis anti radar karena sifat magnetoelektriknya serta ketahanan korosinya. Sifat

magnetoelektriknya berasal dari kedua penyusunnya yaitu sifat elektriknya diberikan oleh PANi dan sifat kemagnetannya diberikan oleh BaM. Sifat magnetoelektriknya ini menyebabkan komposit ini mempunyai rugi magnetik dan elektrik (*magnetic and electrical loss*) ketika dikenai gelombang elektromagnetik (Jiang et.al, 2009 ; Ting et.al, 2010).

Beberapa teknik sintesis komposit BaM/PANi telah dilakukan salah satunya yang telah dilakukan oleh Aghesti WS (2011). Sintesis ini dilakukan dengan dua tahap yaitu sintesis BaM dan PANi secara terpisah kemudian dicampur dengan media acetone. Berdasarkan pengamatan TEM dengan teknik ini distribusi fillernya tidak homogen karena aglumerisasi dari BaM sulit dihindari. Sintesis polimer secara insitu polymerization dengan doping HCl pada PANi dengan penambahan BaM pada saat polimerisasi telah berhasil dilaporkan oleh beberapa grup peneliti diantaranya Jiang et. al (2009). Berdasarkan hasil pengamatan TEM, komposit pada penelitian ini mempunyai penyebaran yang tidak merata dan masih terjadi aglumerisasi dari partikel BaM.

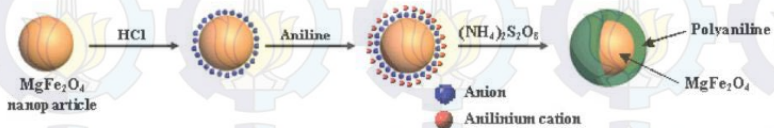


Gambar 2.13 Komposit BaM/PANi yang disintesis dengan metode *insitu Polymerisazation* dan doping HCL (Jiang et. al, 2009)

Untuk menghindari aglumerisasi dilakukan sintesis dengan pemilihan doping pada PANi yang bias berfungsi sebagai

surfaktan. Sintesis dengan doping DBSA merupakan salah satu pilihan untuk tujuan ini. DBSA merupakan asam kuat yang dapat berfungsi sebagai dopan sekaligus sebagai surfaktan. Sintesis dengan metode ini dapat menghasilkan komposit dengan struktur *core-shell*.

Prosedur polimerisasi pembentukan struktur *core-shell* terjadi pada permukaan partikel fillernya. Pada tahap awal, anilin, dopingnya serta partikel magnetiknya dicampur dengan media aquades. Partikel aniline menempel pada permukaan partikel magnetiknya. Dengan penambahan larutan inisiator, proses polimerisasi terjadi pada permukaan partikel filler (Khafagy, et .al, 2011), sehingga pada akhirnya akan terbentuk struktur *core-shell* dimana PANi yang terbentuk akan menyelimuti partikel filler.



Gambar 2.14 Proses Polimerisasi dengan metode *insitu polymerization* (Khafagy, et .al, 2011)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain gelas beker ukuran 50 ml, 100 ml, 250 ml, 500 ml, gelas ukur, buret, pipet, spatula logam, spatula kaca, corong kaca, corong plastik, cawan keramik, mortar, kertas saring, kertas pH, *magnetic stirrer*, timbangan digital, lampu untuk pengeringan, magnet permanen, termometer, *alluminium foil*, *tissue*, *furnace*, kertas label, dan *crucible* keramik. *X-Ray Diffractometer* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa, *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) digunakan untuk mengetahui struktur dan ikatan molekul, DTA/TGA untuk mengetahui temperatur terjadinya pengurangan massa dan perubahan fasa, *X-Ray Flourescence* (XRF) untuk mengetahui unsur yang ada pada bahan, TEM (*Transmission Electron Microscopy*), untuk mengidentifikasi bentuk *core-shell* dari komposit, *two point probe* digunakan untuk mengukur konduktivitas listrik dan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) untuk mengetahui sifat magnetik material BaM/PANi yang dihasilkan

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Iron (III) Chlorida hexahydrate* ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (*for analysi*, Merck), Barium Carbonate (BaCO_3) (*ACS reagent grade*, MP Biomedicals, LLC), serbuk Zn (*pro analysi*, Merck), anilin (*pro analysi*, Merck), aseton (*pro analysi*, Merck), *Hydrochloric acid* (HCl) (*pro analysi*, Merck), Sodium Hidroksida (25%, *pro analysi*, Merck), *Ammonium peroxodisulfate* (*pro analysi*, Merck), *Dodecyl benzene sulfonic acid* (70% wt solution in 2-propanol, *pro analysi*, Aldrich), dan air destilasi (aquades).

3.2. Prosedur Eksperimen

Penelitian ini terdiri atas dua prosedur kerja, yaitu:

1. Sintesis Partikel nano Barium M-Heksaferrit doping ion Zn^{2+} ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) menggunakan metode kopresipitasi.
 - a. Serbuk Zn dan BaCO_3 dilarutkan dalam larutan HCl dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam air destilasi secara terpisah.
 - b. Ketiga larutan pada bagian a dicampur dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit.
 - c. Larutan kemudian ditambahkan larutan NaOH secara perlahan untuk membentuk endapan dan diaduk selama 15 menit.
 - d. Endapan yang terbentuk dicuci dengan air destilasi dan kemudian disaring. Endapan yang telah disaring dikeringkan pada temperatur 100°C dan didapatkan serbuk prekursor BaM.
 - e. Prekursor BaM kemudian dikalsinasi dengan temperatur 1000°C untuk mendapatkan kristalin BaM.
2. Sintesis Komposit PANi/BaM dengan metode *in situ polymerization*.
 - a. Anilin dan DBSA dilarutkan dalam air selama 30 menit sambil distirer.
 - b. Ditambahkan serbuk $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ sambil diaduk hingga homogen.
 - c. Larutan $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$, anilin dan DBSA didinginkan sampai 0°C .
 - d. Polimerisasi dimulai dengan menambahkan larutan inisiator (Larutan Amonium peroxodisulfate) selama 8 jam.
 - e. Setelah polimerisasi selesai larutan PANi dicuci dengan aseton dan air sampai air pencucinya jernih dan disaring untuk mendapatkan serbuk PANi/BaM.

3.3.Karakterisasi Sampel

a. Difraksi Sinar-X

Untuk mengetahui fase-fase yang menyusun komposit PANi/BaM dilakukan pengukuran difraksi sinar-X menggunakan *Philips X'Pert MPD* (Multi Purpose Diffractometer) Laboratorium Difraksi Sinar-X *Research Center* Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sumber radiasi yang digunakan adalah Cu dengan panjang gelombang $1,54056 \text{ \AA}$ dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA. Pola difraksi yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan bantuan perangkat lunak MATCH! dengan database PDF2 dan analisis kuantitatif menggunakan analisis *Rietveld* dengan bantuan perangkat lunak *Rietica* dan untuk estimasi ukuran kristal digunakan perangkat lunak MAUD.



Gambar 3.1 Seperangkat Difraktometer di Lab. Difraksi *Research Center ITS*

b. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Untuk mengetahui ikatan-ikatan yang terbentuk dalam komposit dilakukan pengujian FTIR yang berkaitan dengan energi vibrational dari molekul. Pengujian FTIR (Perkin Elmer) dilakukan di Lab. IPA terpadu UNESA.



Gambar 3.2 Seperangkat alat FTIR di Lab. IPA Terpadu UNESA

c. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

Pengujian menggunakan *X-Ray Fluorescence (XRF)* digunakan untuk mengetahui komposisi elemen dan oksida dari prekursor material BaM hasil sintesis. Perangkat XRF yang digunakan pada penelitian ini merupakan perangkat XRF yang berada di Laboratorium Studi Energi dan Rekayasa ITS.

d. *DTA/TGA*

Pengujian TGA dilakukan untuk mengetahui komposisi bahan, stabilitas termal, dan fenomena yang terjadi pada bahan seperti perubahan fasa. Sedangkan DTA digunakan untuk mengukur aliran panas yang terkait dengan transisi temperatur. Alat ini dapat beroperasi pada temperatur $-180 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

e. *Transmission Electron Microscopy (TEM)*

Untuk Mengetahui ukuran partikel dari serbuk komposit dilakukan pengujian dengan resolusi yang lebih tinggi yaitu TEM. Instrumen TEM yang digunakan adalah TEM konsersium MIPA Indonesia yang berada di Universitas Gajah Mada (UGM) Yogyakarta.



Gambar 3.3 Seperangkat instrumen TEM

f. *Two Point Probe*

Digunakan untuk melakukan pengujian sifat listrik melalui nilai konduktivitasnya. Preparasi sampel dilakukan dengan mengompaksi sampel sebanyak 0,5 gr dengan kekuatan 4 ton menggunakan alat kompaksi. Pengujian sifat konduktivitas ini dilakukan di BATAN, Serpong. Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 Hz sampai 100.000 Hz dengan tegangan 1 V. Nilai konduktivitas dapat dihitung melalui persamaan 3.4.

$$\sigma = G \times \frac{t}{A} \dots\dots\dots (3.4)$$

dimana σ = Konduktivitas sampel S/cm

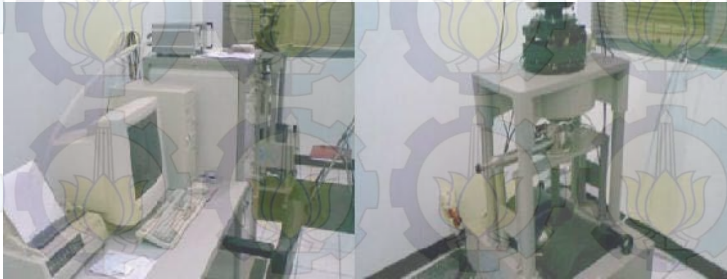
G = Konduktansi (S)

A = luas sampel (cm²)

T = tebal sampel (cm)

g. *Vibrating Sampel Magnetometer (VSM)*

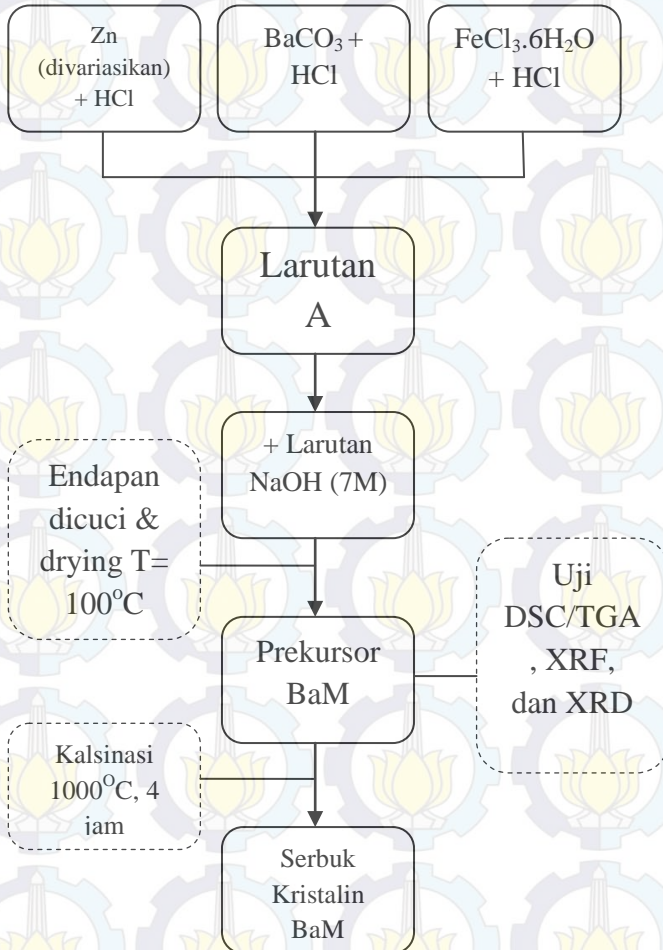
Selain sifat listrik, juga dilakukan pengujian sifat magnetik. Pengujian sifat magnetik dilakukan dengan menguji sampel serbuk dengan menggunakan instrument VSM tipe OXFORD VSM1.2H di kawasan Puspitek Serpong BATAN. Untuk memperoleh kurva histerisis magnetisasi suatu bahan, baik sebagai fungsi temperatur (maksimal 300 K) maupun sebagai fungsi medan luar (maksimal $\pm 1,2$ T). Hasil uji VSM berupa kurva magnetik sampel, temperatur transisi magnetik (T_c) dan konstanta anisotropik bahan (Zainuri, 2010). Sifat kemagnetan suatu bahan dapat diketahui dengan melihat kurva histerisis. Dari kurva histerisis ditentukan besaran-besaran kemagnetan antara lain: magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanen (M_r), serta medan koersivitas (H_c) (Taufiq, 2008).



Gambar 3.4 Seperangkat alat uji *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* tipe OXFORD VSM 1.2H (BATAN)

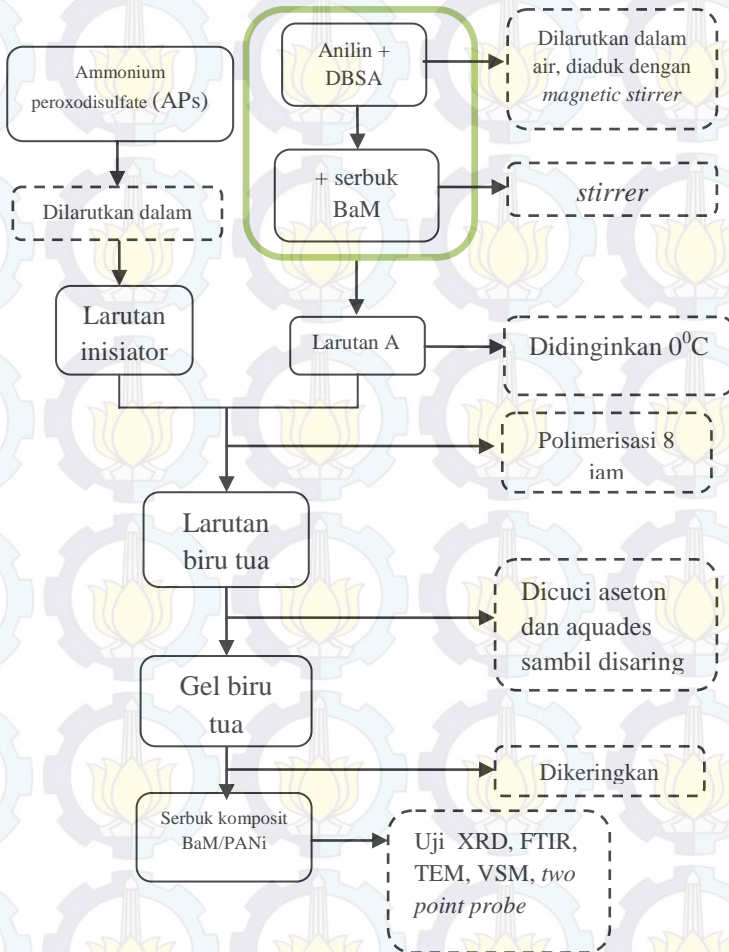
3.4 Skema Kerja

3.4.1 Skema Sintesis $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$



Gambar 3.5 Skema kerja sintesis $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

3.4.2 Skema Sintesis PANi/BaM



Gambar 3.6 Skema kerja sintesis komposit PANi/BaM

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab keempat laporan tugas akhir yang berjudul **“Karakterisasi Sifat Kemagnetan dan Kelistrikan Pada Komposit *Core-Shell* Barium M-Heksaferit Doping Ion Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)/Polianilin”** ini berisi tentang data-data yang diperoleh, serta analisis dan pembahasannya yang dibagi dalam dua bagian utama yaitu sifat kemagnetan dan sifat kelistrikan.

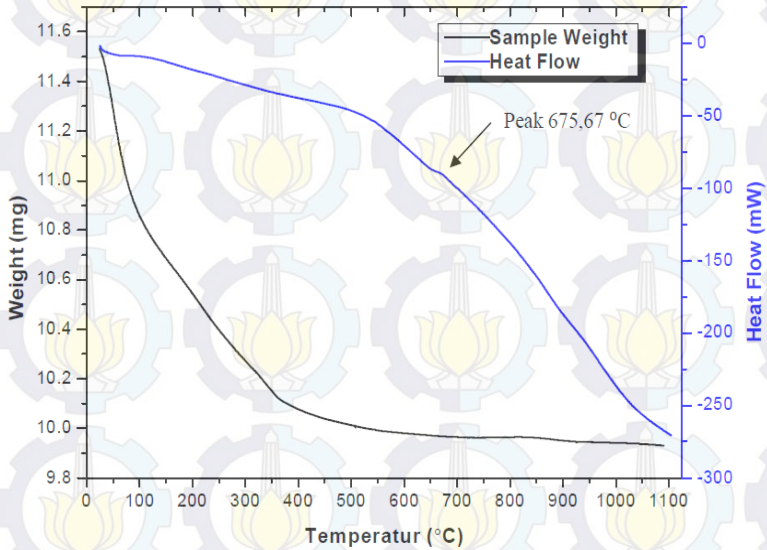
4.1 Sintesis $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Sintesis material komposit *Core-Shell* Barium M-Heksaferit doping ion Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)/Polianilin pada penelitian ini terdiri atas dua bagian, yaitu sintesis partikel magnetik Barium M-Heksaferit (BaM) dan Sintesis Komposit barium M-Heksaferit/Polianilin (PANi/BaM). Barium M-Heksaferit doping ion Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) disintesis dengan metode kopresipitasi, serbuk BaCO_3 dan serbuk Zn dengan variasi konsentrasi 0,3; 0,5 dan 0,7 masing-masing dilarutkan ke dalam HCl dan aquades kemudian $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ juga dilarutkan kedalam aquades. Ketiga larutan tersebut dicampurkan dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit selanjutnya ditambahkan larutan NaOH secara perlahan sehingga terjadi endapan dan diaduk kembali selama 15 menit. Larutan yang dihasilkan dengan pH ≈ 12 setelah penambahan larutan NaOH kemudian dicuci dengan aquades hingga pH ≈ 10 . Proses pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan sisa endapan garam saat proses kopresipitasi menggunakan NaOH tanpa menghilangkan kandungan Barium dalam larutan tersebut karena Barium mudah larut dalam lingkungan asam lemah. Selanjutnya disaring dengan menggunakan kertas saring kemudian dikeringkan pada temperatur 100°C untuk menghilangkan kandungan air di dalamnya. Selanjutnya endapan yang telah kering dimortar sehingga didapatkan serbuk prekursor BaM. Serbuk prekursor BaM yang didapatkan selanjutnya dikalsinasi

pada temperatur 1000°C dengan tujuan untuk mendapatkan kristalin BaM sesuai dengan hasil analisis thermal dengan menggunakan DTA/TGA (*Differential Thermo Analysis/Thermo-Gravimetric Analysis*).

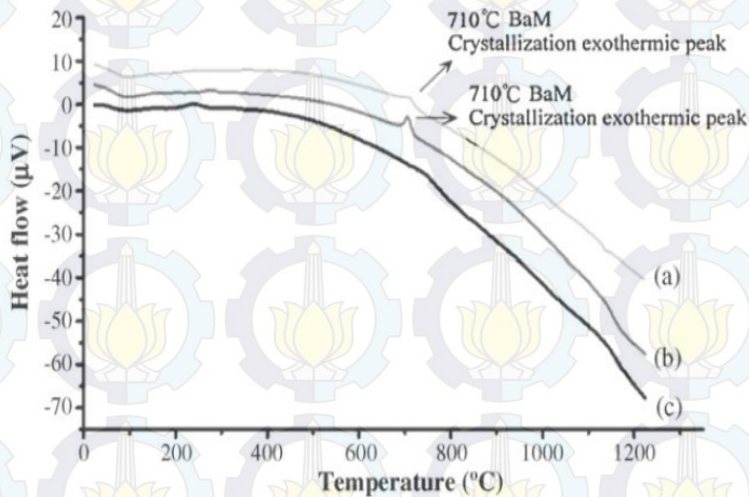
4.2 Analisa Thermal

Analisa termal dilakukan pada serbuk prekursor $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ yang telah disintesis sebelumnya untuk mengetahui dekomposisi termal, transisi fasa, dan penentuan diagram fasa. Analisis termal dilakukan sebagai acuan dalam perlakuan panas (*heat treatment*) dalam proses pembentukan kristal Barium M-Heksaferit. Analisis termal yang dilakukan adalah *Differential Thermo Analysis/Thermo-Gravimetric Analysis* (DTA/TGA). TGA merupakan teknik untuk mengukur berat sampel yang hilang sebagai fungsi temperatur ataupun waktu. Hasilnya berupa rekaman diagram yang kontinyu mengenai reaksi dekomposisi satu tahap yang skematik. Analisa termal diferensial (DTA) merupakan teknik dimana temperatur dari sampel dibandingkan dengan material referen *inert* selama perubahan temperatur terprogram. Temperatur referen dan sampel akan sama apabila tidak terjadi perubahan, namun pada saat terjadi beberapa peristiwa termal seperti pelelehan, dekomposisi atau perubahan struktur kristal pada sampel, maka sampel akan mengalami reaksi eksoterm maupun endoterm yang mana berkaitan dengan kestabilan termodinamik serbuk dan karakterisasi temperaturnya. Berikut ini merupakan kurva hasil DTA/TGA prekursor BaM hasil pengendapan dari proses kopresipitasi.



Gambar 4.1 Grafik DSC/TGA prekursor BaM hasil pengendapan dari proses kopresipitasi

Dari kurva di atas, dapat diamati bahwa terjadi penurunan massa sekitar 13,04% diantara rentang temperatur 25-350°C yang mengindikasikan terjadinya penguapan air dan dekomposisi hidroksida (OH). Puncak eksotermik pada kurva, dapat diamati pada temperatur 675,67°C yang berhubungan dengan kristalisasi barium M-Heksaferit. Dimana hal yang sama juga diamati pada penelitian sintesis BaM dengan metode kopresipitasi yang dilakukan oleh Hsing dan Yao pada tahun 2007, dimana kristalisasi BaM terdapat pada temperatur 710°C sesuai dengan kurva di bawah ini. Sehingga, berdasarkan hasil pengujian di atas, maka perlakuan panas (*heat treatment*) untuk mendapatkan kristalin dari BaM, dilakukan pada temperatur 1000°C dengan penurunan massa sebanyak 11,46% diantara rentang temperatur 25-1000°C. Proses kalsinasi dengan temperatur 1000°C dilakukan selama 4 jam dengan tujuan untuk meningkatkan fraksi volum BaM.



Gambar 4.2 Diagram DTA dari prekursor yang diendapkan: (a) Co_2Z , (b) BaM and (c) Co_2Y . (Hsiang and Yao, 2007)

4.3 Analisa Kandungan Unsur

Pada penelitian sebelumnya oleh Irwan (2012), analisa kandungan unsur dilakukan pada salah satu serbuk prekursor yaitu prekursor dengan konsentrasi doping ($x=0,5$) sebelum proses kalsinasi. Hasil karakterisasi dengan XRF, tabel 4.1, menunjukan bahwa elemen serbuk prekursor terdiri dari unsur Ba, Fe, dan Zn. Unsur-unsur ini kemudian membentuk senyawa Hidroksida yaitu $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$, dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Perbandingan mol relatif (konsentrasi) unsur-unsur penyusun prekursor dengan konsentrasi doping 0,5 yaitu Ba:Fe:Zn (1:11,5:0,5). Sehingga unsur-unsur ini akan membentuk kristalin BaM setelah proses kalsinasi diatas temperatur dimana terjadi puncak eksotermik pada data DSC/TGA yang menandakan kristalisasi dari BaM yaitu berada pada temperatur sekitar $675,67^{\circ}\text{C}$ (Irwan, 2012).

Tabel 4.1 Unsur-Unsur Utama Penyusun Serbuk Prekursor dengan Konsentrasi Doping Zn, $x = 0,5$

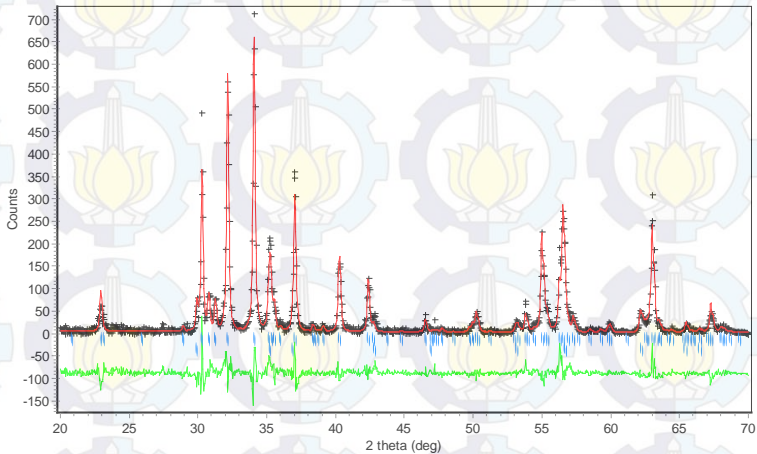
Unsur	% berat	% mol relatif
Ba	16,3	1
Fe	78,82	11,5
Zn	4,09	0,5

4.4 Analisa Struktur Fase BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉

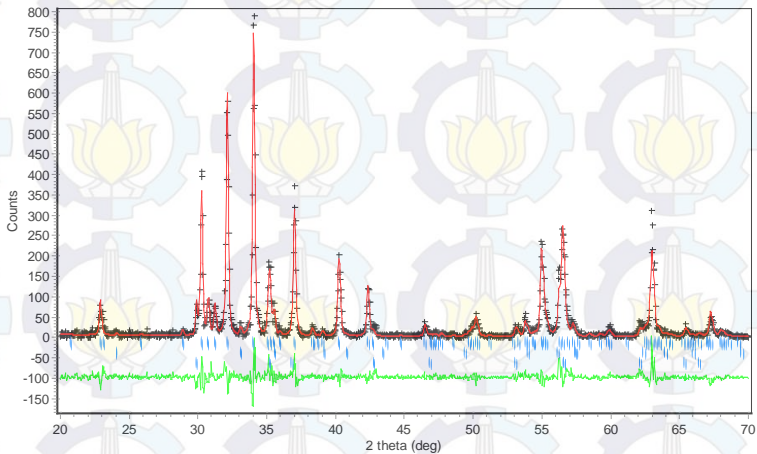
Analisa struktur Barium M-Heksaferit doping ion Zn (BaFe_{12-x}Zn_xO₁₉) dilakukan dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mendeteksi fase yang terdapat di dalam setiap sampel dengan variasi konsentrasi doping Zn²⁺ yang berbeda-beda. Pada pola difraksi dengan variasi konsentrasi doping Zn²⁺ yang berbeda-beda ini dapat teramati bahwa fase Heksaferit merupakan fase yang dominan.

Pada pola difraksi sinar-X Barium M-Heksaferit dengan konsentrasi doping $x=0,3$ yang ditunjukkan pada gambar 4.3, fase yang terbentuk adalah Heksaferite dan Franklinite (ZnFe₂O₄) dengan prosentase masing-masing fase adalah 99,79% dan 0,21%. Dimana pada fase Franklinite ini terjadi substitusi ion doping Zn²⁺ menggantikan ion Fe³⁺ pada posisi struktur tetrahedral Barium M-Heksaferit.

Pada pola difraksi sinar-X Barium M-Heksaferit dengan konsentrasi doping $x=0,5$ yang ditunjukkan pada gambar 4.4, fase yang terbentuk adalah fase Heksaferit dengan prosentase sebanyak 98,23%, fase Hematit sebanyak 1,52% dan fase Franklinite sebanyak 0,25%. Hal ini menunjukkan bahwa selain menyubsitisi ion Fe³⁺ pada struktur tetrahedral BaM, ion doping Zn²⁺ juga menyubsitisi Fe³⁺ pada posisi struktur tetrahedral pada Hematit.



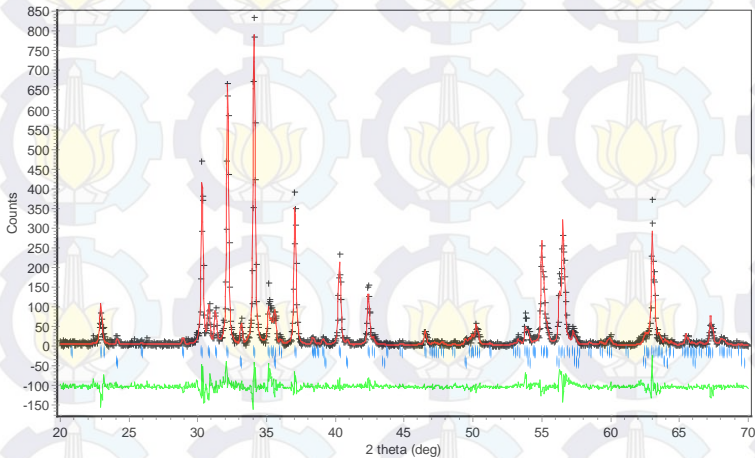
Gambar 4.3 Pola difraksi sinar-X pada BaM doping ion Zn, $x=0,3$ ($\text{BaFe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$)



Gambar 4.4 Pola difraksi sinar-X pada BaM doping ion Zn, $x=0,5$ ($\text{BaFe}_{11,5}\text{Zn}_{0,5}\text{O}_{19}$)

Pada pola difraksi sinar-X Barium M-Heksaferit dengan konsentrasi doping $x=0,7$ yang ditunjukkan pada gambar 4.5,

fase yang terbentuk antara lain adalah fase Heksaferit dengan prosentase 96,55% dan fase Hematit sebanyak 3,45%. Dimana hal ini menunjukkan bahwa ion doping Zn terlarut dalam struktur kristal Heksaferit, menggantikan posisi ion Fe^{3+} pada struktur tetrahedral (Pullar, 2012).



Gambar 4.5 Pola difraksi sinar-X pada BaM doping ion Zn, $x=0,7$ ($\text{BaFe}_{11,3}\text{Zn}_{0,7}\text{O}_{19}$)

Untuk fase-fase yang terbentuk pada Barium M-Heksaferit dengan variasi konsentrasi doping Zn sebesar 0,3; 0,5 dan 0,7 ini, fase yang memiliki sifat kemagnetan yang kuat atau disebut juga *hard magnetic* antara lain fase Heksaferit dan fase Hematit. Fase Heksaferit dalam penelitian ini terbentuk dan mendominasi fase pada Barium M-Heksaferit dengan variasi konsentrasi doping 0,3; 0,5 maupun 0,7. Sedangkan fase Hematit pada penelitian ini hanya terdapat pada Barium M-Heksaferit dengan variasi konsentrasi doping sebanyak 0,5 dan 0,7. Untuk fase yang memiliki sifat kemagnetan lemah atau *soft magnetic* pada Barium M-Heksaferit adalah fase Franklinite dan Magnetit. Tetapi menurut data pola difraksi dengan menggunakan sinar-X, untuk bahan *soft magnetic*, fase Magnetit tidak terbentuk, yang

terbentuk pada Barium M-Heksaferit dengan variasi konsentrasi doping 0,3 dan 0,5 hanya fase Franklinit.

Tabel 4.2 Komposisi Fase Relatif Hasil Penghalusan (*refinement*) Rievelde untuk Variasi Konsentrasi Doping Ion Zn yang Berbeda dengan Perangkat Lunak *Rietica*

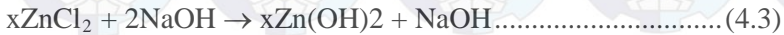
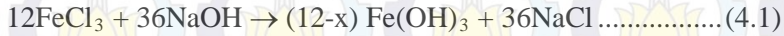
Konsentrasi Doping	Komposisi Fase Relatif (%)			Parameter Kecocokan (GoF)
	Heksaferit	Hematit	Franklinit	
0,3	99,79	-	0,21	2,2
0,5	98,23	1,52	0,25	2,1
0,7	96,55	3,45	-	2,1

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa hasil analisis penghalusan yang dilakukan dapat dinyatakan bahwa data tersebut *acceptable* karena nilai sebagian besar nilai GoF (*Good of Fitness*) <4%. Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa fraksi volum dari BaM menurun setelah mengalami proses pendopingan. Hal ini dapat disebabkan karena pada saat pendopingan, ion Zn tidak seluruhnya tersubstitusi ke dalam BaM, melainkan membentuk fase sendiri yaitu fase Franklinit seperti yang terjadi pada BaM dengan pendopingan ion 0,3 sebanyak 0,21% dan sebanyak 0,25% pada BaM dengan konsentrasi doping ion Zn sebanyak 0,5. Selain itu sebanyak 1,52% pada konsentrasi ion doping Zn 0,5 dan 3,45% pada konsentrasi ion doping Zn 0,7, Zn^{2+} tersubstitusi ke dalam posisi tetrahedral Fe^{3+} pada struktur Hematit.

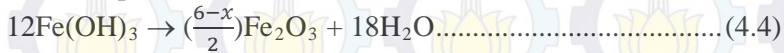
Berdasarkan penelitian sebelumnya, dari data DTA/TGA dan XRD dapat disimpulkan pada proses kopresipitasi ferit klorida dikonversi menjadi $\alpha Fe(OH)_3$ dan NaCl. Begitupun halnya dengan Barium Klorida dan Zinc Klorida dikonversi masing-masing menjadi $Ba(OH)_2$ dan $Zn(OH)_2$ disertai pembentukan NaCl. Pada proses kalsinasi $Fe(OH)_3$, $Ba(OH)_2$ dan $Zn(OH)_2$ terhidradasi masing-masing membentuk αFe_2O_3 , BaO, dan ZnO. Pada akhir kalsinasi pada temperatur 700, 800, 900, dan

1000°C, terjadi pembentukan partikel nano $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ (Tyagi, et.al, 2011). Mekanisme pembentukan ini dapat digambarkan melalui persamaan reaksi berikut:

Netralisasi dengan sodium hidroksida (NaOH):



Nukleasi partikel nano:



Pertumbuhan Kristal:



Sedangkan untuk variasi konsentrasi doping terjadi perubahan parameter kisi (a dan c) yang disebabkan oleh perbedaan jari-jari ionik Zn^{2+} (0.074 Å) dan Fe^{3+} (0.064 Å). Terjadinya pembesaran pada parameter kisi ini mengkonfirmasi bahwa Zn^{2+} menggantikan posisi Fe^{3+} (tetrahedral) dalam struktur kristal BaM. Substitusi ion Fe^{3+} pada posisi tetrahedral (Pullar, 2012) dengan ion Zn^{2+} yang merupakan dopant *aliovalent* (ion dopant mempunyai valensi yang berbeda dengan ion induknya). Karena valensi Zn^{2+} lebih kecil daripada Fe^{3+} maka Zn^{2+} bertindak sebagai *acceptor* dopant. Ketika Zn^{2+} mensubstitusi atom Fe^{3+} kompensasi muatan dicapai dengan terbentuknya vakansi pada posisi atom Fe^{3+} yang digantikan posisinya. Reaksinya dapat ditulis dengan menggunakan notasi Kroger-Vink yaitu sebagai berikut (Rahaman, 2003):



Pembentukan vakansi O_0^x yang meningkat seiring penambahan konsentrasi doping menyebabkan perubahan konstanta kisi c pada konsentrasi doping $x=0,5$ lebih kecil dibandingkan pada konsentrasi doping $x=0,3$ dan perbesaran parameter kisi a dan c pada konsentrasi doping dari $x=0,5$ ke $x=0,7$ lebih kecil dibandingkan pada perbesaran parameter kisi pada doping dari $x=0$ ke $x=0,3$. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa Zn membentuk larutan padat dalam struktur kristal BaM (Irwan, 2012).

4.5 Sintesis Komposit *Core-Shell* PANi/BaM

Sedangkan metode *in situ polimerization* dilakukan untuk proses sintesis komposit PANi/BaM. Anilin dan DBSA dilarutkan ke dalam aquades sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* (pengaduk magnetik) selama 30 menit, kemudian ditambahkan serbuk $BaFe_{12-x}Zn_xO_{19}$ sambil tetap diaduk hingga homogen (merata). Setelah campuran $BaFe_{12-x}Zn_xO_{19}$ dan larutan Anilin+DBSA homogen, larutan campuran tersebut didinginkan hingga temperatur $0^\circ C$ kemudian dipolimerisasi selama 8 jam sambil tetap diaduk dan ditambahkan sedikit demi sedikit larutan inisiator yang terdiri atas larutan *Ammonium Peroxodisulfate* (APS) berwarna bening dengan menggunakan pipet tetes. Kemudian setelah polimerisasi selesai, larutan PANi/BaM disaring untuk mendapatkan endapan dengan menggunakan kertas saring sambil dicuci dengan menggunakan aseton dan aquades sampai air pencucinya jernih. Penyaringan dilakukan untuk mendapatkan endapan berwarna biru tua yang selanjutnya dikeringkan dan didapatkan serbuk komposit PANi/BaM.

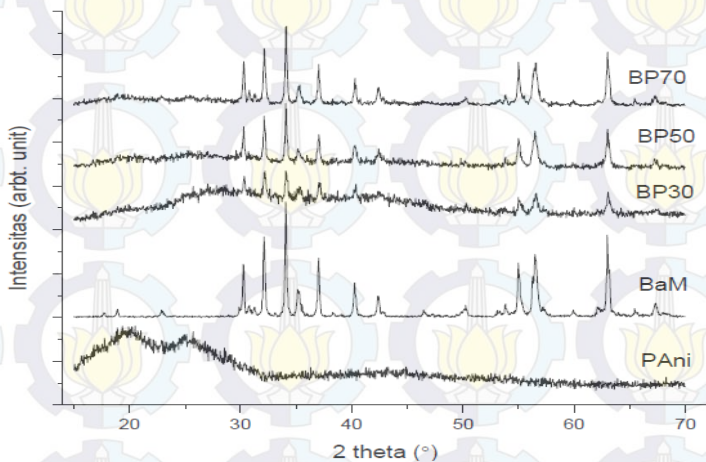
Serbuk komposit PANi/BaM yang didapatkan dari metode *in situ polimerization* ini kemudian dianalisis untuk mengetahui sifat kemagnetan dan kelistrikannya. Pada penelitian ini, doping Zn digunakan dengan tujuan untuk merekayasa sifat kemagnetan dari Barium M-Heksaferit yang divariasi dengan konsentrasi Zn bernilai 0,3; 0,5 dan 0,7.

4.6 Analisa Pembentukan Komposit *Core-Shell* PANi/BaM

Pada penelitian ini, difraksi sinar-X digunakan untuk mengkarakterisasi komposit sehingga dapat mendeteksi fase kristalin dalam komposit (BaM) dan dilakukan uji FTIR untuk mengkonfirmasi terbentuknya PANi sebagai material konduktif dalam fase *emeraldine salt*. Pada pola difraksi komposit PANi/BaM dapat terlihat bahwa struktur kristal BaM tidak mengalami perubahan setelah proses polimerisasi. Pada pola difraksi komposit PANi/BaM, semua puncak BaM teramati tetapi bentuk puncak-puncak yang berbeda yang disebabkan oleh PANi. Pada ketiga pola difraksi komposit (BP30, BP50, dan BP 70) terlihat bahwa puncak BaM semakin tinggi seiring penambahan konsentrasinya didalam komposit.

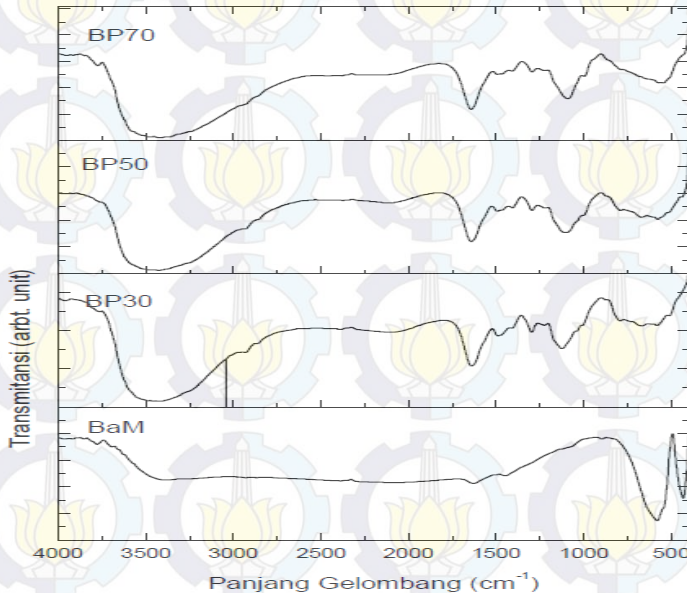
Pada pola difraksi yang ditunjukkan oleh gambar 4.6 ini dapat diketahui bahwa puncak-puncak dari PANi mengalami pelemahan setelah ditambahkan dengan BaM, hal ini disebabkan karena hamburan dari atom-atom partikel BaM lebih dominan dari pada atom C, H, N pada molekul PANi serta kristalinitas PANi yang berkurang pada proses polimerisasi di permukaan partikel BaM. Hal ini sesuai dengan pengamatan pada penelitian sebelumnya yang melakukan sintesis komposit $\text{MgFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan struktur *core-shell* (Khafagy et.al, 2011).

Pembentukan komposit PANi/BaM didalam komposit dikonfirmasi dengan data spektrum FTIR yang diberikan pada gambar 4.6. Pada spektrum FTIR BaM terdapat dua absorpsi pada panjang gelombang 433 dan 581 cm^{-1} yang merupakan *stretching metal-oxide*, hal ini mengkonfirmasi terbentuknya BaM (Yang et.al, 2010). Pada Spektrum FTIR komposit PANi/BaM terdapat absorpsi pada panjang gelombang 3427, 1639, 1501, 1305, 1131, 991, 807 cm^{-1} . Absorpsi pada panjang gelombang 1639 dan 1501 cm^{-1} merupakan absorpsi dari *stretching C=N* dan *C=C*, 1305 cm^{-1} absorpsi dari *stretching C-N*, 1130 cm^{-1} absorpsi dari mode vibration *N=Q=N* (Yang, et.al, 2010).



Gambar 4.6 Pola difraksi PANi, BaM dan komposit PANi/BaM

Hal ini mengidentifikasi bahwa PANi mengalami setengah oksidasi (*half oxidation*). Absorpsi pada panjang gelombang 991 cm^{-1} menandakan *stretching* dari S=O, 3427 cm^{-1} berhubungan dengan N-H *stretching*, 807 cm^{-1} merupakan ciri dari p-substitusi cincin benzenoid (Ma, et.al, 2010). Sedangkan absorpsi pada panjang gelombang 433 dan 581 mengalami pelemahan, hal ini mengidentifikasi bahwa partikel BaM terbungkus oleh PANi. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa PANi yang terbentuk didalam komposit PANi/BaM adalah *emeraldine salt* yang merupakan fasa PANi yang bersifat konduktif.



Gambar 4.7 Spektrum FTIR BaM dan Komposit PANi/BaM

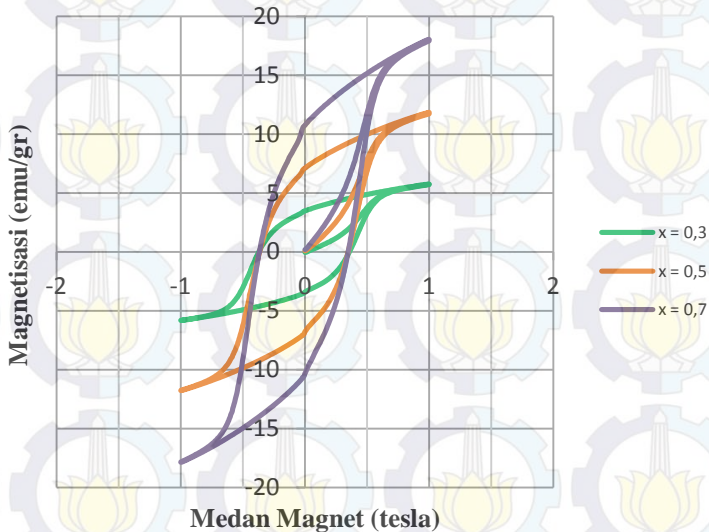
4.7 Analisa Sifat Kemagnetan $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$

Sedangkan untuk mengetahui sifat kemagnetan Barium M-Heksaferit, maka dilakukan pengukuran kurva histerisis dengan peralatan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Dimana besarnya sifat magnet suatu bahan dapat diketahui melalui kurva histerisis, sehingga dari kurva tersebut dapat diketahui besarnya nilai remanensi (M_r), dan koersivitas (H_c). Untuk menentukan suatu bahan bersifat magnet lemah (*soft magnetic*) atau magnet kuat (*hard magnetic*) yang tidak hanya dinilai dari parameter besarnya nilai magnetisasi saturasi tetapi juga dari medan koersivitas dan nilai magnetisasi remanen.

Medan koersivitas merupakan besaran medan magnet balik yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasinya bernilai nol. Semakin besar nilainya semakin kuat sifat kemagnetannya. Sedangkan magnetisasi remanen adalah remanensi magnet yang tersisa didalam bahan setelah medan magnet luar diiadakan. Sifat

magnetik pada BaM disumbangkan oleh ion Fe^{3+} yang memiliki momen magnet $5\mu_B$. Untuk BaM distribusi momen magnetik dalam struktur BaM adalah $1\uparrow$ trigonal bipiramidal, $7\uparrow 2\downarrow$ oktahedral dan $2\downarrow$ tetragonal, sehingga net momen magnetik untuk BaM $4\uparrow$ adalah $20\mu_B$ (Pullar, 2012).

Substitusi Zn^{2+} pada posisi tetrahedral akan mengakibatkan net momen magnetik BaM akan meningkat dan medan koersivitas akan turun. Hal ini dapat diamati pada konsentrasi doping $x=0,7$ pada gambar 4.8 di bawah ini. Dimana medan koersivitasnya turun dan nilai remanensi magnetiknya meningkat setelah dilakukan proses doping. Dimana hasil yang serupa juga telah dilaporkan dari penelitian sebelumnya dengan memberikan substitusi ion Mn, Cu dan Ti dimana medan koersivitasnya semakin turun dan nilai saturasi magnetiknya semakin naik setelah dilakukan proses doping pada BaM (Gashemi, et.al, 2006; Pullar 2012)



Gambar 4.8 Perbandingan kurva histeresis BaM pada variasi konsentrasi doping Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$)

Tabel 4.3 Nilai Remanensi dan Medan Koersivitas BaM untuk Konsentrasi Ion Doping Zn 0,3; 0,5 dan 0,7

Konsentrasi Doping Zn	Remanensi (emu/gr)	Medan Koersivitas (T)
X = 0 (Irwan, 2012)	29,32	0,46
X = 0,3	3,49	0,3552
X = 0,5	7,13	0,346
X = 0,7	10,79	0,3457

Telah diketahui bahwa bahan Barium M-Heksaferit termasuk bahan magnet keras (*hard magnetic*) yang merupakan salah satu bahan baik dari segi keilmuan maupun teknologi yang juga sangat penting. Magnet keras merupakan magnet permanen yang memiliki kurva histeresis (*Hysteresis loop*) yang besar dan mempunyai nilai koersivitas (H_c) yang tinggi (Bekir dkk, 1986). Dari hasil yang didapat dari penelitian sebelumnya, untuk sampel BaM tanpa doping memiliki nilai koersivitas yang paling tinggi dibandingkan dengan nilai koersivitas setelah didoping yaitu dengan remanensi sebesar 29,32 emu/gr dan medan koersivitas sebesar 0,46 T. Koersivitas disebut juga intensitas magnet yang digunakan untuk membedakan *hard magnet* atau *soft magnet*. Semakin besar medan koersivitasnya maka semakin keras sifat magnetnya, hal tersebut dikarenakan untuk menghilangkan sifat kemagnetannya dibutuhkan medan magnet yang besar. Perbandingan kurva histeresis pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa didapatkan nilai saturasi yang semakin besar dengan nilai koersivitas yang semakin kecil seiring dengan konsentrasi doping yang ditambahkan ke dalam serbuk $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$. Hal ini menunjukkan bahwa BaM yang didoping dengan ion Zn semakin berubah sifatnya dari *hard magnetic* menjadi *soft magnetic*. Sesuai dengan tujuan awal penelitian ini untuk penambahan konsentrasi doping ion Zn^{2+} yang diharapkan dapat mengakibatkan domain-domain magnet pada BaM kembali

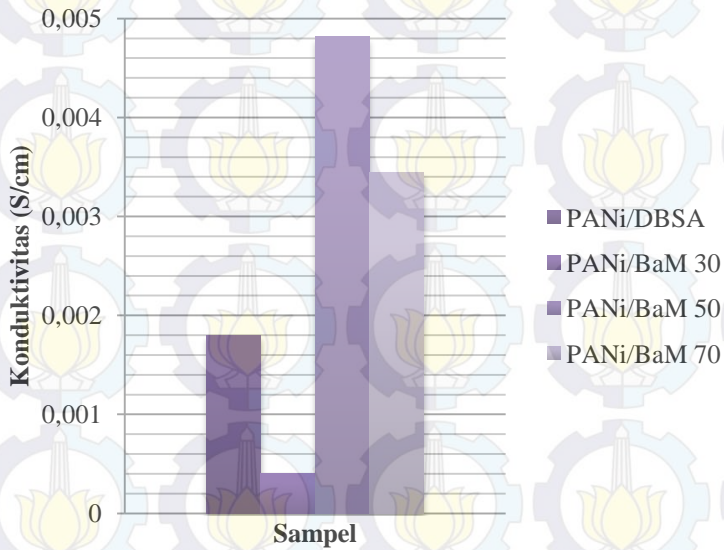
mengalami ketidakseimbangan kembali sehingga sifatnya berubah dari magnet kuat menjadi magnet lemah.

4.8 Analisa Sifat Kelistrikan Komposit PANi/BaM

Analisis sifat kelistrikan untuk komposit PANi/BaM dengan variasi doping ion Zn masing-masing 0,3; 0,5 dan 0,7. Pengukuran konduktivitas komposit PANi/BAM adalah untuk mengetahui kemampuan material tersebut dalam menghantarkan arus listrik setelah dicampurkan dengan barium M–Heksaferrit yang merupakan material dengan sifat kemagnetan yang besar. Preparasi serbuk komposit dilakukan dengan dibuat pellet masing-masing serbuk sebanyak 0,5 gr dan dikompaksi dengan kekuatan maksimum 4 ton untuk diukur dengan metode *two point probe* yang dilakukan di BATAN, Serpong.

Dari pengukuran konduktivitas dengan menggunakan metode *two point probe* tersebut diperoleh data berupa nilai konduktivitas untuk masing-masing sampel serbuk PANi/DBSA, PANi/BaM 30, PANi/BaM 50 dan PANi/BaM 70. Grafik pada gambar 4.9 ini mempresentasikan perbandingan nilai konduktivitas untuk masing-masing sampel PANi/DBSA, PANi/BaM 30, PANi/BaM 50 dan PANi/BaM 70.

Hubungan antara konduktivitas (S/cm) dengan sampel PANi/DBSA dan komposit PANi/BAM yang divariasi konsentrasi dopingnya masing-masing sebesar 0,3; 0,5 dan 0,7 semakin menurun konduktivitasnya seiring dengan bertambah banyaknya konsentrasi doping yang diberikan pada komposit PANi/BaM dengan variasi doping Zn sesuai dengan grafik pada gambar 4.9 berikut:



Gambar 4.9 Grafik perbandingan konduktivitas antara PANi/DBSA dengan komposit PANi/Barium M–Heksaferrit variasi doping ion Zn

Tabel 4.4 Nilai Konduktivitas PANi/DBSA dan Komposit PANi/Barium M–Heksaferrit dengan Variasi Doping Ion Zn

Sampel	Konduktivitas (S/cm)
PANi/DBSA	$1,79 \times 10^{-3}$
PANi/BaM 30	$0,39 \times 10^{-3}$
PANi/BaM 50	$4,8 \times 10^{-3}$
PANi/BaM 70	$3,4 \times 10^{-3}$

Pada keempat sampel tersebut diperoleh nilai konduktivitas yang berbeda-beda. Pada sampel serbuk PANi/DBSA,

konduktivitasnya menurun setelah dikompositkan dengan Barium M-Heksaferit yang diberikan variasi konsentrasi doping ion Zn di dalamnya. Hal ini terjadi karena ketika serbuk BaM yang telah diberikan variasi konsentrasi tertentu dicampurkan dengan serbuk PANi, partikel ferit (Fe^{3+}) dari BaM dan partikel Zn yang didopingkan menghalangi interaksi rantai polianilin sehingga arus yang dialirkan berkurang begitu juga dengan konduktivitasnya.

Terjadinya penurunan nilai konduktivitas dari PANi antara sebelum dan setelah dikompositkan dengan BaM disebabkan karena adanya gaya elektrostatik yang berasal dari BaM, dimana gaya elektrostatik tersebut menimbulkan medan elektrostatik sehingga menyebabkan bipolaron pada PANi tidak lagi mudah untuk bergerak.

Pada struktur fase Barium M-Heksaferit yang telah diketahui yaitu struktur fase Heksaferit, Hematit dan Franklinite, yang memiliki konduktivitas tinggi hanya struktur fase Heksaferit dengan nilai konduktivitas sebesar 10^{-8} S/cm dan struktur fase Hematit dengan nilai konduktivitas sebesar 5×10^{-7} S/cm. Sedangkan fase Franklinite yang mengandung ion Zn pada komposit *core-shell* PANi/BaM yang didoping tidak memberikan kontribusi konduktivitas yang berarti karena nilainya yang jauh lebih kecil daripada nilai konduktivitas yang dimiliki oleh fasa Heksaferit dan Hematit. Sehingga terbentuknya fase Franklinite pada komposit *core-shell* PANi/BaM ini dapat menurunkan konduktivitas karena pergerakan bipolaron PANi terhalang oleh partikel-partikel Zn di BaM yang terkandung di dalamnya.

Franklinite merupakan anggota dari kelompok spinel mineral, dan turunan akhir dari seri magnetit, dengan komposisi $\text{ZnFe}_3^{+2}\text{O}_4$, meskipun jumlah yang cukup dari Mn^{2+} dan Fe^{2+} juga hadir. Memiliki sifat fisik berwarna hitam, logam mengkilat, kristal kubik tapi biasanya ditemukan sebagai tetragonal dan oktahedral dimana fenomena ini terjadi di Franklin, New Jersey. Serta memiliki nilai konduktivitas yang jauh lebih kecil daripada Hematit (Ailsa dan Michael, 2001).

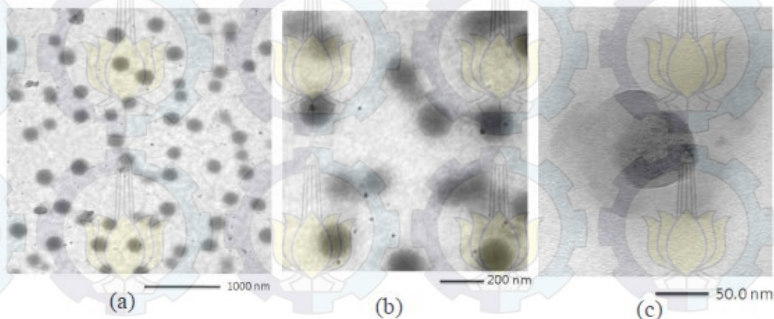
Seperti yang telah diketahui bahwa pembawa muatan pada suatu bahan dapat berupa ion, elektron maupun cacat atau *deffect*. Sehingga konduktivitas pada komposit *core-shell* PANi/BaM 50 bertambah semakin tinggi nilainya menjadi sebesar $4,8 \times 10^{-3}$ S/cm, hal ini dipengaruhi oleh struktur fasa yang terbentuk pada komposit *core-shell* PANi/BaM 50 yang terdiri atas Heksaferit, Hematit dan Franklinite dimana prosentase dari Heksaferit di dalam komposit *core-shell* PANi/BaM 30 adalah sebanyak 98,23%, fase Hematit sebanyak 1,52% dan prosentase dari fase Franklinite sebesar 0,25%. Adanya struktur fase Hematit yang terbentuk dan memiliki nilai konduktivitas yang tinggi dengan prosentase sebesar 1,52% ternyata cukup berpengaruh meningkatkan konduktivitas pada komposit *core-shell* PANi/BaM 50, sehingga konduktivitasnya bertambah jauh lebih tinggi.

Sedangkan pada komposit *core-shell* PANi/BaM 70, struktur fasa yang terkandung di dalamnya terdiri atas struktur fase Heksaferit dan Hematit dimana prosentase dari Heksaferit di dalam komposit *core-shell* PANi/BaM 30 adalah sebanyak 96,55% dan prosentase dari fase Hematit sebesar 3,45%. Konduktivitasnya menurun yaitu menjadi sebesar 3,72 S/cm karena nilai konduktivitas yang disumbangkan berkurang dan hanya berasal dari konduktivitas Heksaferit dan Hematit karena fase Franklinite tidak terbentuk pada komposit *core-shell* ini sehingga nilai konduktivitasnya lebih rendah jika dibandingkan dengan komposit *core-shell* PANi/BaM 50 karena jumlah cacat (*deffect*) yang lebih sedikit.

Berdasarkan analisis dari segi struktur fase pembentuk Barium M-Heksaferit dengan variasi konsentrasi doping Zn dan variasi konsentrasi ion Zn yang didopingkan tersebut, maka dapat diketahui bahwa konduktivitas komposit *core-shell* PANi/BaM juga dipengaruhi oleh struktur fasa yang terbentuk di dalamnya yang akan semakin bertambah oleh semakin banyaknya cacat pada struktur fasa yang terbentuk sehingga muatan dapat dengan mudah mengalir.

4.9 Analisa Morfologi Komposit PANi/BaM Berstruktur *Core-Shell*

Pengamatan morfologi komposit PANi/Barium M-Heksaferrit variasi doping ion Zn seperti yang terlihat pada gambar 4.10 ini telah dilakukan pada penelitian sebelumnya menggunakan perangkat TEM (*Transmission Electron Microscopy*) dengan perbesaran yang berbeda-beda.



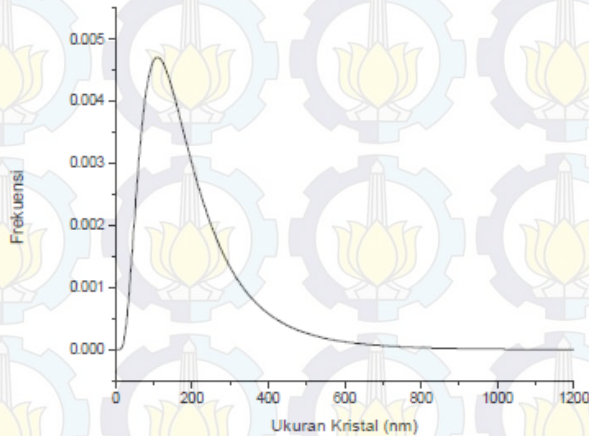
Gambar 4.10 Hasil pengamatan komposit PANi/BaM dengan TEM

Dari hasil pengamatan diatas terlihat bahwa ukuran partikel komposit rata-rata ~ 190 nm. Pada gambar (c) terlihat bahwa ukuran BaM sebagai *core* ~ 100 nm. Ukuran partikel BaM ini dikonfirmasi dengan hasil analisis pola difraksi dengan menggunakan perangkat lunak MAUD. MAUD digunakan dengan pertimbangan bahwa perangkat lunak dapat mengoreksi pelebaran puncak dari efek instrument (Pratapa et.al, 2010).

Distribusi ukuran Kristal hasil analisis dengan MAUD diberikan pada Gambar 4.11. dengan ukuran kristal rata-rata 101(6) nm. Berdasarkan morfologi komposit PANi/BaM hasil pengamatan TEM diatas terlihat bahwa dengan struktur *core-shell* distribusi filler merata didalam struktur komposit.

Komposit PANi/BaM yang berhasil disintesis ini mempunyai sifat kemagnetan dan kelistrikan dimana sifat

kemagnetannya disumbangkan oleh partikel nano BaM dan sifat kelistrikannya disumbangkan oleh PANi.



Gambar 4.11 Distribusi ukuran Kristal BaM berdasarkan analisis data difraksi.

Dengan sifat ini diharapkan komposit PANi/BaM memiliki rugi magnetik dan elektrik pada saat dikenai gelombang radar pada orde X-Band sehingga dapat diaplikasikan sebagai material pelapis anti radar.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari keseluruhan penelitian dan data yang telah didapatkan setelah dilakukan analisis serta tindak lanjut yang mungkin dapat dilakukan dalam penelitian selanjutnya dalam saran.

5.1. Kesimpulan

Berdasar penelitian sintesis dan karakterisasi komposit *core-shell* Polianilin/Barium M-Heksaferit doping ion Zn ($\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$) yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh Penambahan konsentrasi ion doping Zn ke dalam Barium M-Heksaferit berhasil mereduksi sifat kemagnetannya menjadi semakin lemah dengan doping optimum sebanyak 0,7 ($\text{BaFe}_{11,3}\text{Zn}_{0,7}\text{O}_{19}$) dengan nilai remanensi magnetik sebesar $10,79 \text{ emu/gr}$ dan medan koersivitas sebesar $34,57 \times 10^{-2} \text{ T}$, dan
2. Komposit PANi/ $\text{BaFe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ telah berhasil disintesis dengan struktur *core-shell*, dimana BaM sebagai *core* dan PANi sebagai *shell*. Dengan diameter rata-rata dari komposit yaitu $\sim 190 \text{ nm}$ dengan diameter filler $\sim 101(6) \text{ nm}$. Konduktivitas dari komposit dengan variasi konsentrasi doping Zn pada *filler*, $x = 0,3; 0,5; 0,7$ pada *filler* yaitu sebesar $0,39 \times 10^{-3} - 4,8 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Dilakukam identifikasi sifat absorpsi gelombang radar dari komposit BaM/PANi dan optimasi parameter-parameternya seperti ketebalan, variasi filler magnetiknya, ion pendoping dan lain-lain.

“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

DAFTAR PUSTAKA

- Albanese, G. 1977, **Recent Advances in Hexagonal Ferrites by the Use of Nuclear spectroscopic Methods**, *Journal de Physique*, Vol. 38, pp. C1-85.
- Allaby, Ailsa dan Michael Allaby. 1999. **Franklinite**. A *Dictionary of Earth Science*. 21 Juni 2013. <http://www.encyclopedia.com>.
- Bhadra, S., Khastgir, D., Nikhil, K. S. dan Lee, J. H. 2009, **Progress in Preparation, Processing and Applications of Polyaniline**, *Progress in Polymer Science*, Vol. 34, pp. 783-810.
- COD 1008841, *Crystallography Open Database online*. <http://www.crystallography.net/>
- Cullity, B. D. dan Graham, C. D., 2009, **Introduction to Magnetic Materials**, John Wiley & Sons, Inc., United State of America.
- Ghasemi, A., Hosseienpour, A., Morisako, A., Liu, X. dan Ashrafizadeh, A. 2008, **Investigation of The Microwave Absorptive Behavior of Doped Barium Ferrites**, *Materials and Design*, Vol. 29, pp. 112–117.
- Ghasemi, A., Hossienpour, A., Morisako, A., Saatchi, A., dan Salehi, M. 2006, **Electromagnetic Properties and Microwave Absorbing Characteristics of Doped Barium Hexaferrite**, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 302, pp. 429–435.
- Griiffiths, D. J., 1999, **Introduction to Electrodynamics**, Prentice Ppl, New Jersey.
- Haba, Y., Segal, E., Narkis, M., Titelman, G. I. dan Siegmman, A. 1999, **Polymerization of Aniline in The Presence of DBSA in An Aqueous Dispersion**, *Synthetic Metals*, Vol. 106, pp. 59–66.
- Han, Y. G., Kusunose, T. dan Sekino, T. 2009, **One-Step Reverse Micelle Polymerization of Organic**

- Dispersible Polyaniline Nanoparticles**, *Synthetic Metals*, Vol. 159, pp. 123–131.
- Jiang, J., Ai, Lun-Hong, Qin, Da-Bin, Liu, H. dan Li, Liang-Chao, **Preparation and Characterization of Electromagnetic Functionalized Polyaniline/BaFe₁₂O₁₉ Composites**, *Synthetic Metals*, Vol. 159, pp. 695–699.
- Khafaghy, Rasya M., 2011, **Synthesis, Characterization, Magnetic and Electrical Properties of The Novel Conductive and Magnetic Polyaniline MgFe₂O₄ Nanocomposite Having The Core Shell Structure**, *Journal of Alloy and Compound*, Vol. 509, pp. 9849-9857.
- Knott, Eugene F. 1990, **Radar Cross Section**, *Handbook of Radar*, ed. Skolnik, M. I., Mc Graw Hills, USA, pp. 11.1-11.34.
- MacDiarmid, A. G. 2001, Nobel Lecture: **Synthetic metals: A Novel Role for Organic Polymers**, *Reviews of Modern Physics*, Vol. 73, pp. 701-712.
- Mallick, K. K., Shepherd, P. dan Green, R. J. 2007, **Dielectric Properties of M Type Barium Hexaferrite Prepared by Co-Precipitation**, *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 27, pp. 2045–2052.
- Meshram, M.R., Agrawal, N. K., Sinha, B. dan Misra, P. S. 2004, **Characterization of M-Type Barium Hexagonal Ferrite-Based Wide Band Microwave Absorber**, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 271, pp. 207–214.
- Molaei, M. J., Ataie, A., Raygan, S., Rahimipour, M. R., Picken, S. J., Tichelaar, F. D., Legarra, E., dan F. Plazaola, E. 2012, **Magnetic Property Enhancement and Characterization of Nano-Structured Barium Ferrite by Mechano-Thermal Treatment**, *Materials Characterization*, Vol. 63, pp. 83–89.
- Pullar, R. C. 2012, **Hexagonal Ferrites: A Review of The Synthesis, Properties and Applications of Hexaferrite**

- Ceramics**, *Progress in Materials Science*, Vol. 57, pp.1191–1334.
- Qiu, J. dan Gu, M. 2006, **Crystal Structure and Magnetic Properties of Barium Ferrite Synthesized Using GSPC and HEBM**, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 415, pp. 209–212.
- Ramli, Irwan. 2012, **Sintesis dan Karakterisasi Struktur dan Sifat Magnet dan Listrik Komposit Barium M-Heksaferit/Polianilin Berstruktur Core-Shell**. Thesis Jurusan Fisika. Surabaya: ITS
- Ramprecht, J. dan Sjöberg, D. 2007, **Biased Magnetic Materials in RAM Applications**, *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 75, pp. 85–117.
- Saville, P. 2005, **Review of Radar Absorbing Materials**, Defence R & D Canada, Canada.
- Seo, I. S., Chin, W. S. dan Lee, G. L. 2004, **Characterization of Electromagnetic Properties of Polymeric Composite Materials with Free Space Method**, *Composite Structures*, Vol. 66, pp. 533–542.
- Sudarsono, Juwono. 2008, **Buku Putih Pertahanan**. Jakarta: Departemen Pertahanan Republik Indonesia.
- Sudati, Aghesti W. 2011, **Sintesis dan Karakterisasi Komposit Isotropik Resin Epoksi-Polianilin/Barium M-Heksaferit $\text{BaFe}_{12-x}\text{Co}_x\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ Sebagai Material Anti Radar**. Tugas Akhir Jurusan Fisika. Surabaya: ITS.
- Ting, Tzu-Hao dan Wu, Kuo-Hui, 2010, **Synthesis, Characterization of Polyaniline/ $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ Composites with Microwave-Absorbing Properties**, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 322, pp. 2160–2166.
- Tsotra, P. dan Friedrich, K. 2004, **Thermal, Mechanical, and Electrical Properties of Epoxy Resin/Polyaniline-Dodecylbenzenesulfonic Acid Blends**, *Synthetic Metals*, Vol. 143, pp. 237–242.

Wan, M., 2008, **Conducting Polymers with Micro or Nanometer Structure**, Tsinghua University Press, Beijing.

Yang, C. C., Gung, Y. J., Hung, W. C., Ting, T. H., dan Wu, K. H. 2010, **Infrared and Microwave Properties of BaTiO₃/Polyaniline and BaFe₁₂O₁₉/Polyaniline Composites**, *Composites Science and Technology*, Vol. 70, pp 466-471.

Zainuri, M., Darminto, Siradji, E.S. 2011, **Studi Absorpsi Elektromagnetik pada Barium M-Hexaferites untuk Aplikasi Anti Radar**, Laporan Akhir Program Insentif Riset Terapan Tahun Anggaran 2011.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Data VSM.....	57
Lampiran A2	Kurva Histerisis BaM.....	61
Lampiran B	Data <i>Two Point Probe</i>	65
Lampiran B2	Kurva Konduktivitas	73
Lampiran C	Data <i>Rietica</i>	77

LAMPIRAN A DATA VSM

Data VSM berikut ini untuk menentukan sifat kemagnetan suatu material berdasarkan kurva histeresisnya.

A.1 Data VSM Barium M–Heksaferit dengan substitusi ion Zn, $x = 0,3$

emu	tesla	emu/gr
-2,80E-04	0,00E+00	-0,04180181
-3,08E-04	7,00E-04	-0,045981933
-1,77E-04	1,06E-02	-0,026474481
0,00E+00	1,53E-02	0
1,40E-04	2,04E-02	0,020900876
2,52E-04	2,37E-02	0,037621688
3,92E-04	2,80E-02	0,058522593
5,41E-04	3,20E-02	0,080816775
6,72E-04	3,66E-02	0,100324404
7,94E-04	4,08E-02	0,118438463
9,24E-04	4,62E-02	0,1379458
1,09E-03	5,05E-02	0,163026821
1,19E-03	5,46E-02	0,176960761
1,28E-03	5,89E-02	0,190895284
1,43E-03	6,33E-02	0,213189463
1,60E-03	6,65E-02	0,238270209
1,72E-03	7,18E-02	0,256384269
1,79E-03	7,72E-02	0,267531358
1,93E-03	7,92E-02	0,288432254
2,10E-03	8,47E-02	0,313513582
2,25E-03	9,01E-02	0,335806597
3,79E-02	9,68E-01	5,652998507
3,79E-02	9,73E-01	5,658550597
3,80E-02	9,77E-01	5,668310597
3,81E-02	9,81E-01	5,680846567
3,81E-02	9,86E-01	5,690606418

3,82E-02	9,90E-01	5,696187761
3,82E-02	9,95E-01	5,700366418
3,83E-02	9,99E-01	5,710126418
3,83E-02	1,00E+00	5,712931642
3,83E-02	1,00E+00	5,710126418

A.2 Data VSM Barium M–Heksaferit dengan substitusi ion Zn, $x = 0,5$

m (emu)	H (Tesla)	M (emu/gr)
8,96E-04	0,00E+00	0,081033458
9,34E-04	9,00E-04	0,084409748
1,12E-03	5,10E-03	0,101291736
1,40E-03	1,10E-02	0,126614892
1,82E-03	1,58E-02	0,164599177
2,18E-03	1,95E-02	0,197518237
2,62E-03	2,40E-02	0,237191817
3,05E-03	2,93E-02	0,276021022
3,44E-03	3,36E-02	0,311472694
3,89E-03	3,79E-02	0,351988888
4,29E-03	4,22E-02	0,387440561
4,68E-03	4,66E-02	0,422892233
5,11E-03	5,09E-02	0,46172321
5,50E-03	5,49E-02	0,497174882
5,83E-03	5,93E-02	0,527562034
6,29E-03	6,47E-02	0,568922613
6,68E-03	6,79E-02	0,603529901
7,09E-03	7,22E-02	0,640670335
7,56E-03	7,63E-02	0,683719684
8,01E-03	8,16E-02	0,724235877
8,48E-03	8,61E-02	0,766440841
1,29E-01	9,71E-01	11,62914738
1,29E-01	9,76E-01	11,64348553
1,29E-01	9,79E-01	11,65614286

1,29E-01	9,84E-01	11,66881736
1,29E-01	9,88E-01	11,68147378
1,29E-01	9,92E-01	11,69244937
1,29E-01	9,98E-01	11,7059557
1,30E-01	9,99E-01	11,72114376
1,30E-01	1,00E+00	11,72620705
1,30E-01	1,00E+00	11,73043761

A.3 Data VSM Barium M–Heksaferit dengan substitusi ion Zn, $x = 0,7$

m (emu)	H (Tesla)	M (emu/gr)
1,76E-03	4,00E-04	0,190217033
1,78E-03	8,00E-04	0,192229959
2,48E-03	1,21E-02	0,26771423
2,89E-03	1,45E-02	0,311995569
4,04E-03	2,62E-02	0,435787009
4,58E-03	2,93E-02	0,494161125
5,02E-03	3,35E-02	0,541464899
5,53E-03	3,79E-02	0,595811902
6,05E-03	4,22E-02	0,652172467
6,69E-03	4,87E-02	0,721616904
7,15E-03	5,09E-02	0,770932137
7,66E-03	5,48E-02	0,825279129
8,20E-03	5,92E-02	0,883653245
8,75E-03	6,47E-02	0,943032029
9,21E-03	6,79E-02	0,992347251
9,75E-03	7,22E-02	1,050725582
1,03E-02	7,63E-02	1,108090772
1,08E-02	8,05E-02	1,165458172
1,14E-02	8,49E-02	1,223832255
1,20E-02	9,04E-02	1,289249569
1,25E-02	9,44E-02	1,352655455
1,65E-01	9,76E-01	17,78885511
1,65E-01	9,80E-01	17,80998275

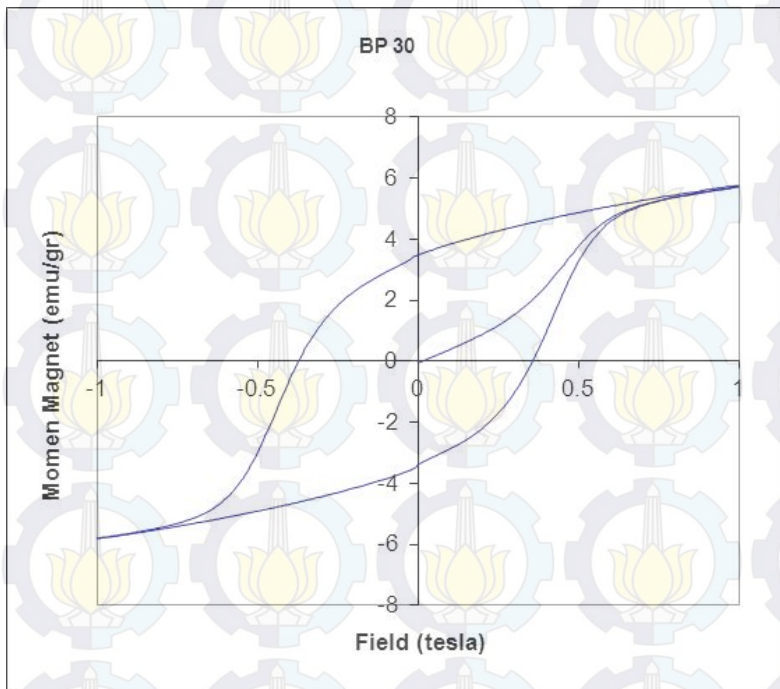
1,65E-01	9,84E-01	17,83313605
1,66E-01	9,89E-01	17,85325032
1,66E-01	9,94E-01	17,87439953
1,66E-01	9,98E-01	17,8945138
1,66E-01	1,00E+00	17,91163109
1,66E-01	1,00E+00	17,91665481
1,66E-01	1,00E+00	17,92169901
1,66E-01	1,00E+00	17,92572984

LAMPIRAN A2

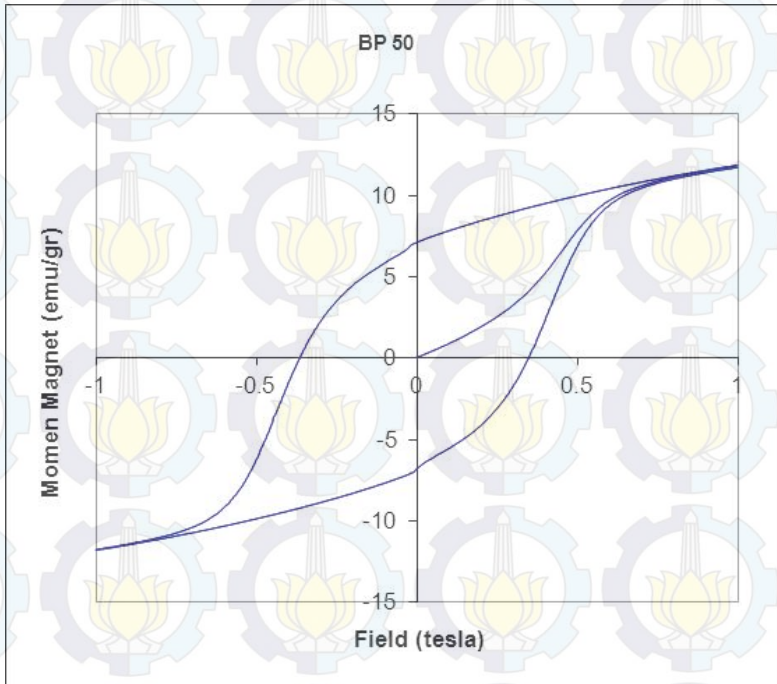
Kurva Histerisis BaM

Data kurva histerisis berikut adalah hasil analisis dari data VSM yang telah didapatkan untuk masing-masing variasi konsentrasi ion doping Zn pada Barium M-Heksaferit.

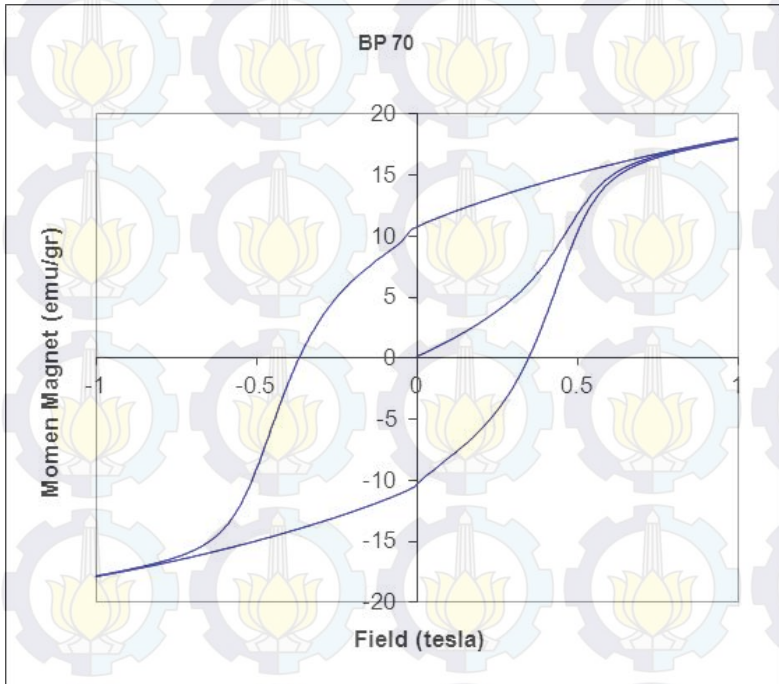
A2.1 Kurva Histerisis Barium M-Heksaferit dengan Ion Doping Zn, $x = 0,3$



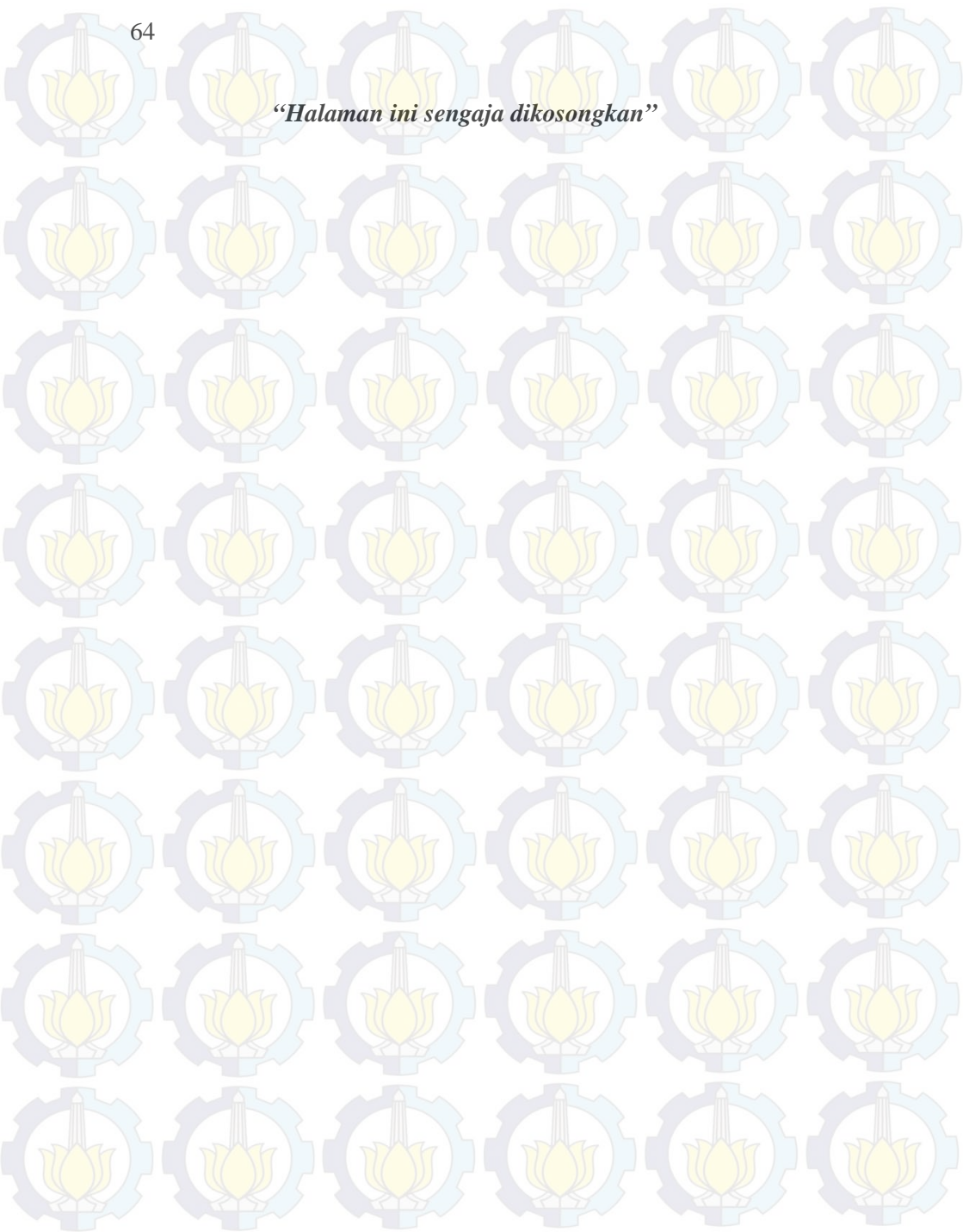
A2.2 Kurva Histeresis Barium M-Heksaferit dengan Ion Doping Zn, $x = 0,5$



A2.3 Kurva Histerisis Barium M-Heksaferit dengan Ion Doping Zn, $x = 0,7$



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



LAMPIRAN B

Data Two Point Probe

Data *two point probe* berikut ini digunakan untuk menentukan sifat kelistrikan suatu material berdasarkan nilai konduktivitasnya.

B.1 Data Two Point Probe PANi/DBSA

Frequency	Conductivity (S/cm)
1	0,001795975
1,343	0,001790033
1,805	0,001798522
2,424	0,001793146
3,257	0,001793004
4,375	0,001786355
5,878	0,001795268
7,897	0,001802341
10,61	0,00180319
14,25	0,001805029
19,14	0,001800502
25,72	0,001798946
34,55	0,001799087
46,42	0,00179838
62,36	0,001798097
83,77	0,001791731
112,5	0,001805878
151,2	0,001805737
203,1	0,001808
272,8	0,001803897
366,5	0,001806303

492,4	0,001804746
661,5	0,001804746
888,6	0,001801775
1194	0,001796824
1604	0,001789609
2154	0,001800361
2894	0,001797956
3888	0,001797673
5223	0,001794277
7017	0,00179159
9427	0,001786638
12660	0,001801634
17010	0,001800644
22850	0,001800927
30700	0,001788902
41250	0,001788902
55410	0,001790033
74440	0,001791165
100000	0,001791731

B.2 Data Two Point Probe PANi/BaM 30

Frequency	Conductivity (S/cm)
1	0,000383007
1,343	0,000389436
1,805	0,000392016
2,424	0,000389866
3,257	0,000390641
4,375	0,000392299

5,878	0,000394636
7,897	0,000395446
10,61	0,000396243
14,25	0,000396809
19,14	0,000397047
25,72	0,000398026
34,55	0,000398394
46,42	0,000398224
62,36	0,000398003
83,77	0,000395089
112,5	0,0003981
151,2	0,000398467
203,1	0,000397505
272,8	0,000398252
366,5	0,000398586
492,4	0,000398852
661,5	0,000398818
888,6	0,000398218
1194	0,000397817
1604	0,000397053
2154	0,000398869
2894	0,000398847
3888	0,000398886
5223	0,000398507
7017	0,000398128
9427	0,000397477
12660	0,000400567
17010	0,000400759
22850	0,000401461

30700	0,000401206
41250	0,000401585
55410	0,000401546
74440	0,000401936
100000	0,000402168

B.3 Data *Two Point Probe* PANi/BaM 50

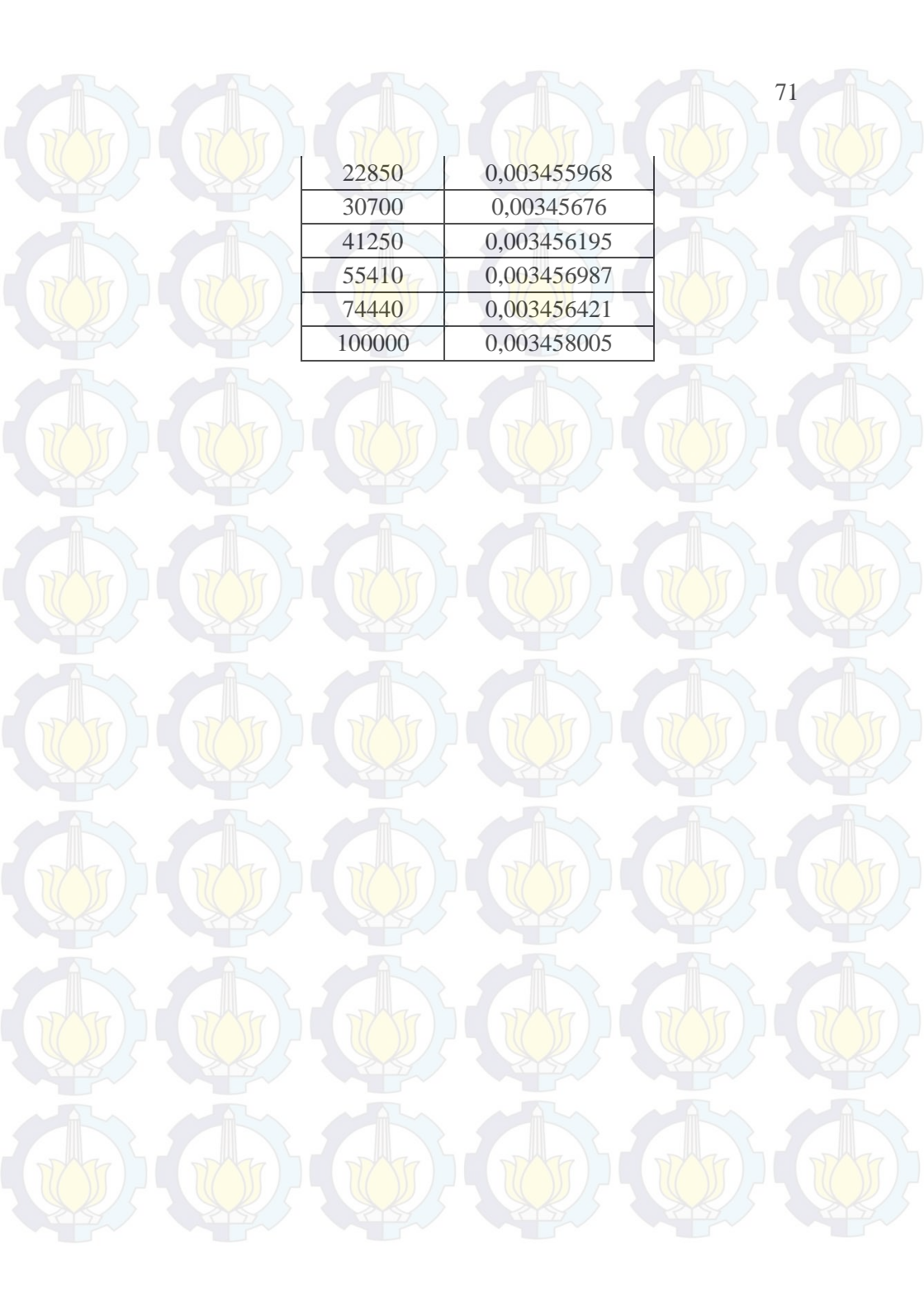
Frequency	Conductivity (S/cm)
1	0,004676326
1,343	0,004694576
1,805	0,004704054
2,424	0,004717635
3,257	0,004725841
4,375	0,004753286
5,878	0,004762623
7,897	0,004770404
10,61	0,004778892
14,25	0,004787239
19,14	0,004790069
25,72	0,004796576
34,55	0,00480365
46,42	0,004805772
62,36	0,004809875
83,77	0,004810865
112,5	0,004828124
151,2	0,0048335
203,1	0,004837886
272,8	0,004833359

366,5	0,004835339
492,4	0,00483831
661,5	0,004839159
888,6	0,004838735
1194	0,004838169
1604	0,004837037
2154	0,004850901
2894	0,004850901
3888	0,004849486
5223	0,004849204
7017	0,004846233
9427	0,004842554
12660	0,004861512
17010	0,004863351
22850	0,004863209
30700	0,004865756
41250	0,004868727
55410	0,004869434
74440	0,004869434
100000	0,00487198

B.4 Data Two Point Probe PANi/BaM 70

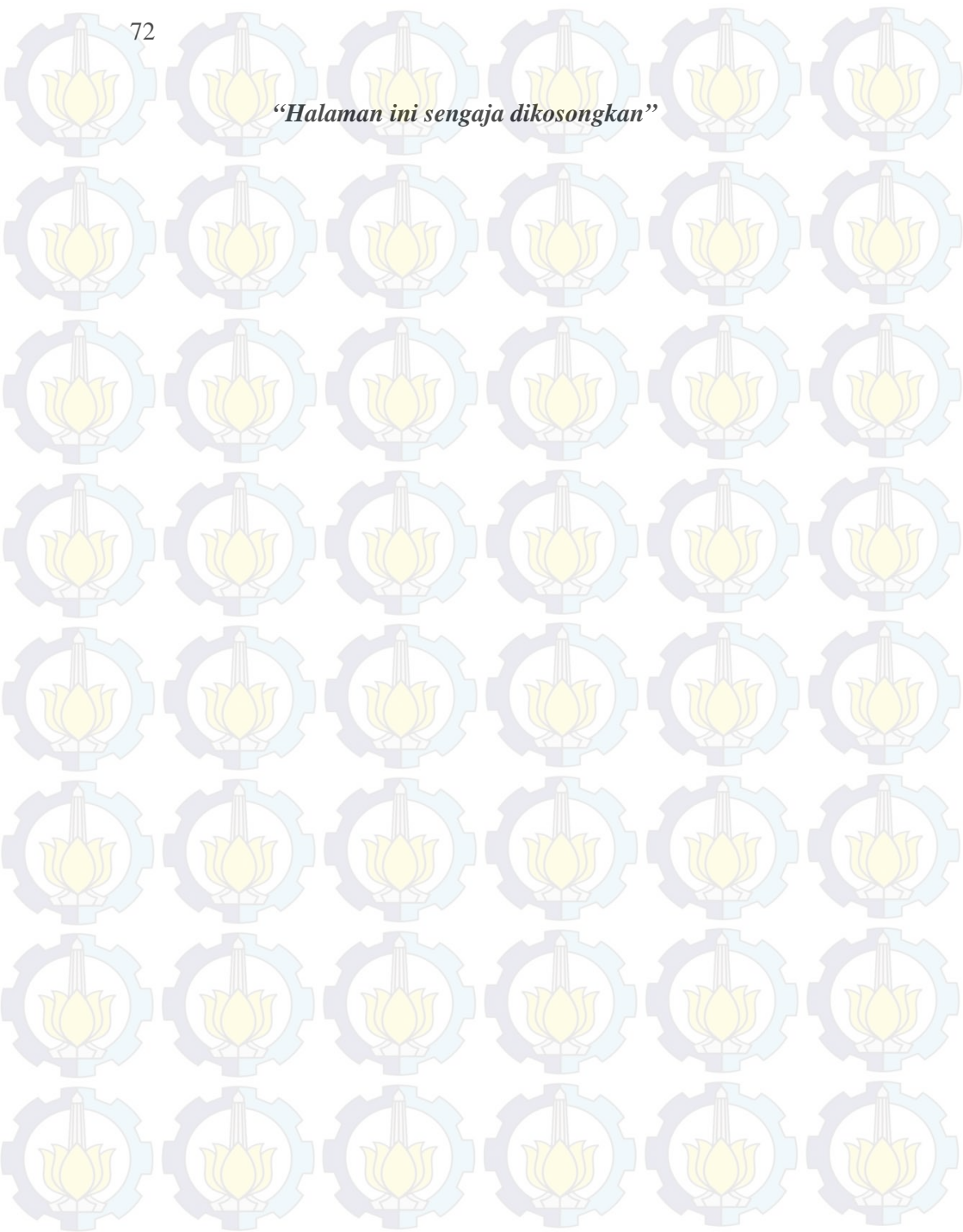
Frequency	Conductivity (S/cm)
1	0,003402775
1,343	0,003406736
1,805	0,003410471
2,424	0,003410698
3,257	0,003414659

4,375	0,003425976
5,878	0,003427561
7,897	0,003433333
10,61	0,003435596
14,25	0,003439784
19,14	0,003442274
25,72	0,003443632
34,55	0,003444424
46,42	0,003444764
62,36	0,003445443
83,77	0,0034425
112,5	0,003452007
151,2	0,003450875
203,1	0,003451668
272,8	0,00345246
366,5	0,003453931
492,4	0,003454157
661,5	0,003453478
888,6	0,003452573
1194	0,003452347
1604	0,003448951
2154	0,003456647
2894	0,003456081
3888	0,00345246
5223	0,003451102
7017	0,003449404
9427	0,003445443
12660	0,0034571
17010	0,003456081



22850	0,003455968
30700	0,00345676
41250	0,003456195
55410	0,003456987
74440	0,003456421
100000	0,003458005

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

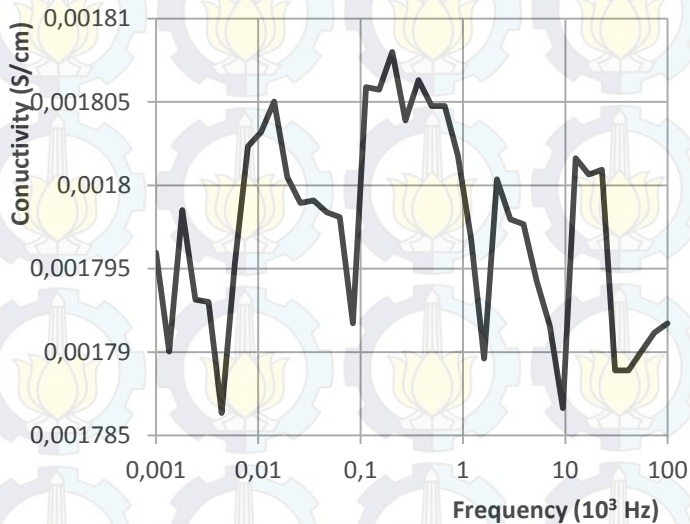


LAMPIRAN B2

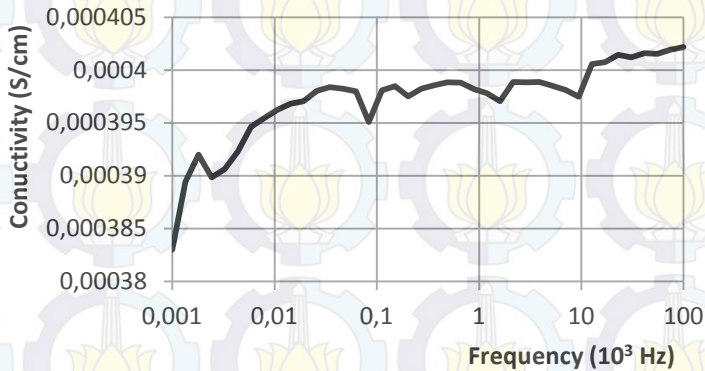
Kurva Konduktivitas

Data kurva berikut ini merupakan hasil analisa dari data konduktivitas material berdasarkan hasil pengukuran dengan metode *two point probe*.

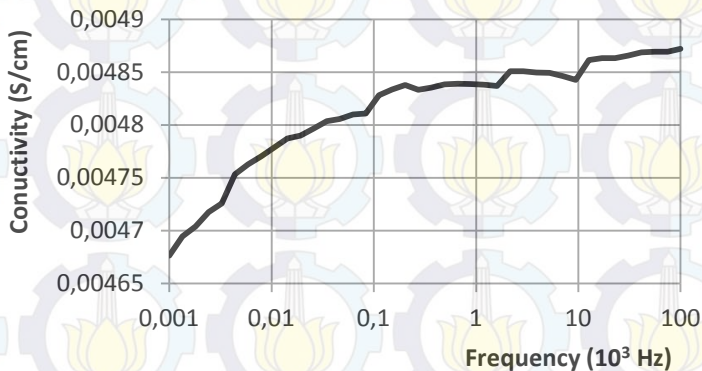
B2.1 Kurva Konduktivitas PANi/DBSA



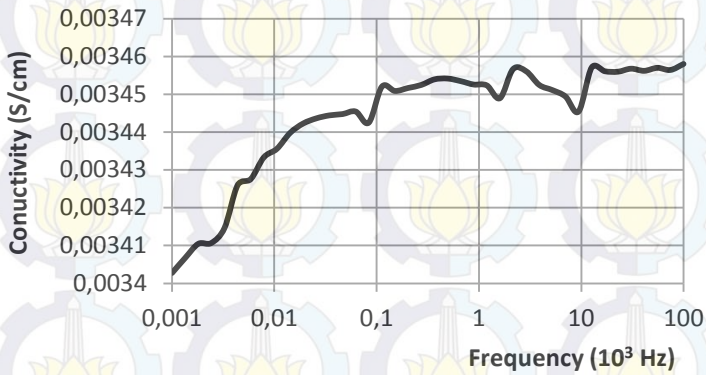
**B2.2 Kurva Konduktivitas Komposit *Core-Shell*
PANi/Barium M-Heksaferit yang Divariasi
Konsentrasi Ion Doping Zn, $x = 0,3$**



**B2.3 Kurva Konduktivitas Komposit *Core-Shell*
PANi/Barium M-Heksaferit yang Divariasi
Konsentrasi Ion Doping Zn, $x = 0,5$**



**B2.4 Kurva Konduktivitas Komposit Core-Shell
PANi/Barium M-Heksaferit yang Divariasi Konsentrasi
Ion Doping Zn, $x = 0,7$**

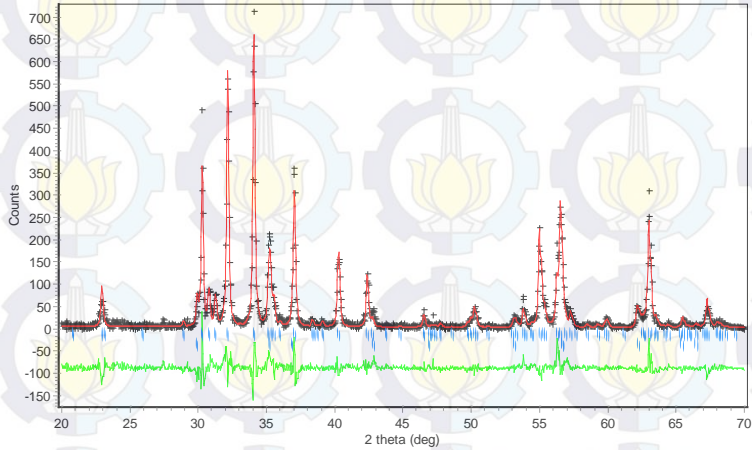


“Halaman ini sengaja dikosongkan.”

LAMPIRAN C

Data Rietica

C.1 BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O₁₉ (Sintering suhu 1000)



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES: WEIGHT

PERCENTAGE OF PHASES:

PHASE 1: 99.99 3.62 99.79 3.61

PHASE 2: 0.01 0.00 0.21 0.03

+-----+							
Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P	
+-----+							
1	18.56	26.47	17.87	0.988	1.301	1213	
+-----+							
SUMYDIF		SUMYOBSS		SUMYCALC		SUMWYOBSSQ	
GOF		CONDITION					
+-----+							
0.7050E+04		0.3798E+05		0.3532E+05		0.3798E+05	
0.2194E+01		0.1587E+22					
+-----+							

-----+
 | Phase: 1 |
 -----+

PHASE SCALE FACTOR = 0.110135E-04-.325395E-
 080.281711E-06

OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000

CELL PARAMETERS = 5.896228 0.000028 0.000863

5.896228 0.000028 0.000863

23.213587 -0.000013 0.003715

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

120.000000 0.000000 0.000000

RECIPROCAL CELL = 0.196 0.196 0.043 90.000 90.000
 60.000

CELL VOLUME = 698.910339 0.182806

SCALE * VOLUME = 0.007697 0.000197

MOLECULAR WEIGHT = 2348.108

DENSITY = 5.576

-----+
 | Phase: 2 Franklinite |
 -----+

PHASE SCALE FACTOR = 0.261617E-080.188226E-
 110.333760E-09

OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000

CELL PARAMETERS = 8.438691 -0.000009 0.002023

8.438691 -0.000009 0.002023

8.438691 -0.000009 0.002023

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

RECIPROCAL CELL = 0.119 0.119 0.119 90.000 90.000
 90.000

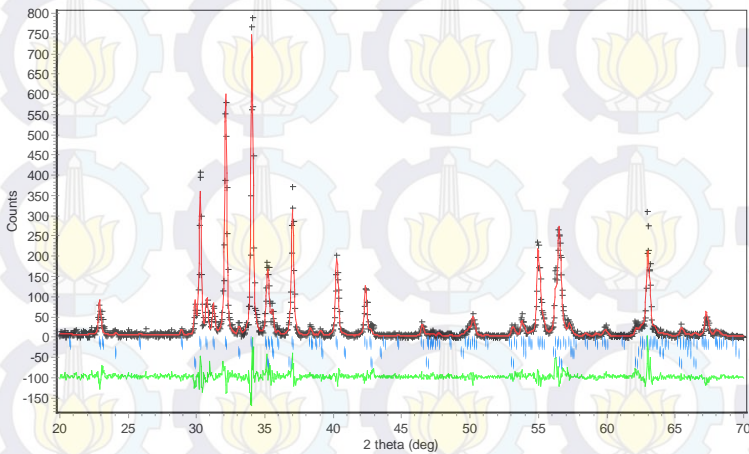
CELL VOLUME = 600.931946 0.249505

SCALE * VOLUME = 0.000002 0.000000

MOLECULAR WEIGHT = 23788.168

DENSITY = 65.704

C.2 BaFe_{11.5}Zn_{0.5}O₁₉ (Sintering suhu 1000)



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES: WEIGHT

PERCENTAGE OF PHASES:

PHASE 1:	89.79	4.01	98.23	4.23
PHASE 2:	10.20	1.77	1.52	0.26
PHASE 3:	0.01	0.00	0.25	0.02

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	18.15	26.10	17.87	1.042	1.429	1213
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.6896E+04	0.3800E+05	0.3541E+05	0.3800E+05	0.2134E+01	0.9234E+21	

-----+
 | Phase: 1 BAM |
 -----+

PHASE SCALE FACTOR = 0.988576E-050.462701E-
 080.302834E-06

OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000

CELL PARAMETERS = 5.895261 -0.000039 0.000842

5.895261 -0.000039 0.000842

23.211525 0.000025 0.003605

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

120.000015 0.000015 0.000002

RECIPROCAL CELL = 0.196 0.196 0.043 90.000 90.000
 60.000

CELL VOLUME = 698.618835 0.177961

SCALE * VOLUME = 0.006906 0.000212

MOLECULAR WEIGHT = 2344.311

DENSITY = 5.570

-----+
 | Phase: 2 HEMATITE |
 -----+

PHASE SCALE FACTOR = 0.865117E-060.413714E-
 090.147772E-06

OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000

CELL PARAMETERS = 5.036126 0.000026 0.004199

5.036126 0.000026 0.004199

13.762237 -0.000063 0.015737

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

120.000008 0.000008 0.000011

RECIPROCAL CELL = 0.229 0.229 0.073 90.000 90.000
 60.000

CELL VOLUME = 302.282349 0.496520

SCALE * VOLUME = 0.000262 0.000045

MOLECULAR WEIGHT = 958.193
 DENSITY = 5.261

+-----+
 | Phase: 3 FRANKLINITE ZNFE204 |
 +-----+

PHASE SCALE FACTOR = 0.290911E-080.598925E-
 120.159423E-09

OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000

CELL PARAMETERS = 8.439584 -0.000016 0.002542

8.439584 -0.000016 0.002542

8.439584 -0.000016 0.002542

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

RECIPROCAL CELL = 0.118 0.118 0.118 90.000 90.000
 90.000

CELL VOLUME = 601.122620 0.313651

SCALE * VOLUME = 0.000002 0.000000

MOLECULAR WEIGHT = 23788.168

DENSITY = 65.683

PHASE SCALE FACTOR = 0.119182E-040.371166E-080.273233E-06

OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000

CELL PARAMETERS = 5.895256 -0.000044 0.000647

5.895256 -0.000044 0.000647

23.220140 0.000040 0.002890

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

120.000015 0.000015 0.000000

RECIPROCAL CELL = 0.196 0.196 0.043 90.000 90.000 60.000

CELL VOLUME = 698.876892 0.138992

SCALE * VOLUME = 0.008329 0.000191

MOLECULAR WEIGHT = 2340.499

DENSITY = 5.559

+-----+
| Phase: 2 Hematite |

+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.240138E-050.244352E-080.174996E-06

OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000

CELL PARAMETERS = 5.038165 -0.000035 0.001511

5.038165 -0.000035 0.001511

13.756492 0.000092 0.006703

90.000008 0.000008 0.000000

90.000008 0.000008 0.000000

120.000015 0.000015 0.000000

RECIPROCAL CELL = 0.229 0.229 0.073 90.000 90.000 60.000

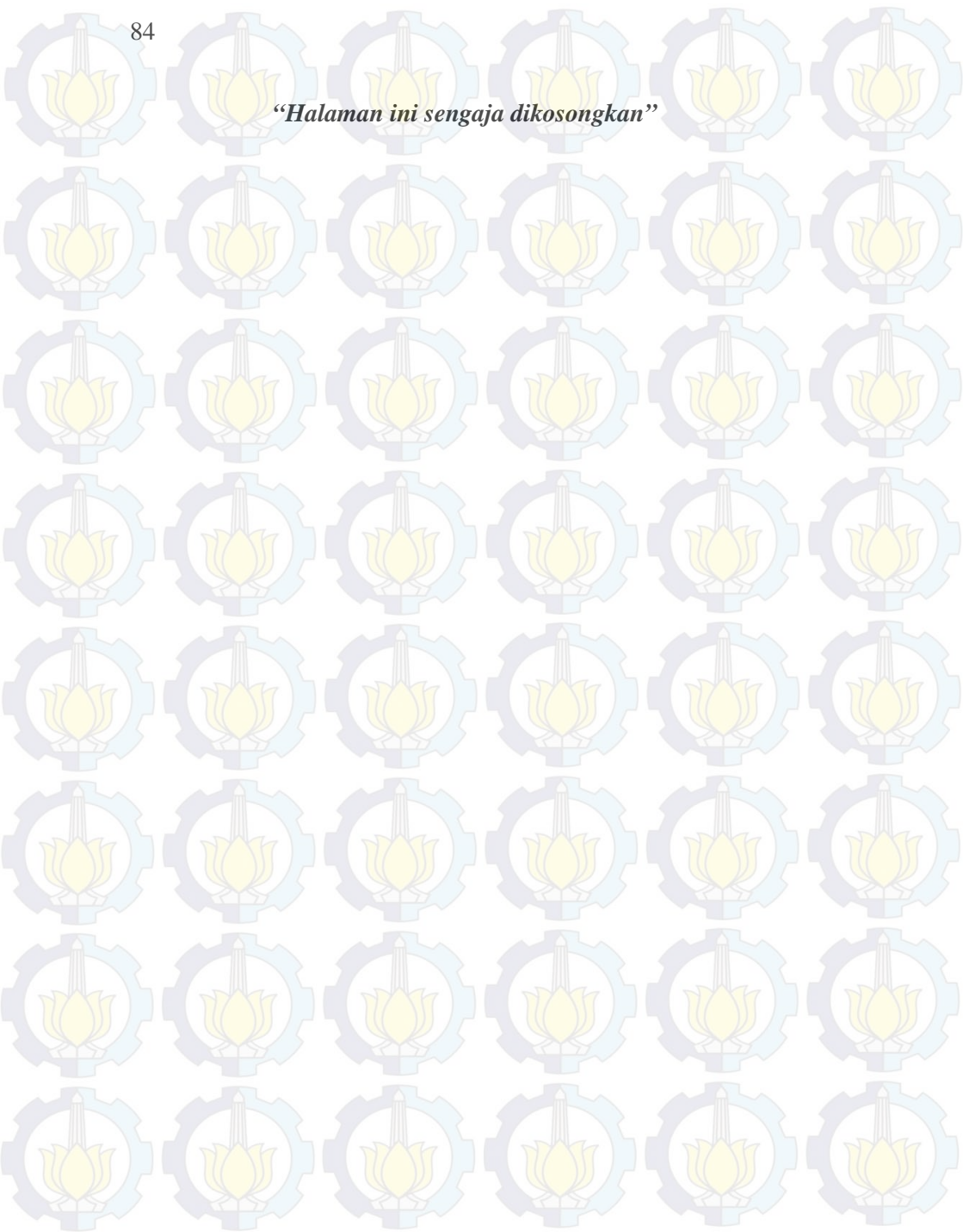
CELL VOLUME = 302.400848 0.195319

SCALE * VOLUME = 0.000726 0.000053

MOLECULAR WEIGHT = 958.193

DENSITY = 5.259

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



BIODATA PENULIS



Penulis Lahir di Kota Pahlawan, Surabaya pada hari Rabu, tanggal 6 Mei 1992 dengan nama Novita Ratnasari Siswiyanto dari pasangan Ibu Siti Khadijah Nasution dan Bapak Hery Siswiyanto. Penulis yang biasa dipanggil dengan nama “Novi” ini merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. “*Do the best, not do my best.*” adalah motto penulis. Jejak pendidikan penulis

dimulai di kota Surabaya di TK Elveka Surabaya (1998), SDN Margorejo I/403 Surabaya (2003), SLTP Negeri 12 Surabaya (2006), SMA Negeri 16 Surabaya (2009) dan diterima di Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada th. 2009 melalui jalur SNMPTN. Sejak sekolah dasar penulis telah banyak mengikuti berbagai kegiatan olah raga, seni, paduan suara, tergabung dalam grup *drum band* Gita Siswa Anoraga dan PASSMAXVI. Semasa kuliah, penulis juga aktif dalam organisasi mahasiswa bagian BPH HIMASIKA sebagai staff Biro Kesekretariatan (2010-2011), Kepala Divisi Rumah Tangga (2011-2012), anggota Paduan Suara Mahasiswa (PSM) ITS serta komunitas ekstra kampus. Penulis juga aktif berpartisipasi dalam pelatihan, seminar serta kompetisi penulisan karya tulis ilmiah (PKM) yang didanai oleh dikti (2013). Waktu luang penulis sering diisi dengan kegiatan seni, membaca, menulis, *travelling*, memasak dan bersosialisasi dengan teman. Akhir kata, apabila ada kritik dan saran, silahkan kirim ke: **novi.pearlblack@gmail.com**